سلسلة هندسة الإتصالات (٢)

COMMUNICATION

1

نظم الإتصالات

م.ريم مصطفى الدبس



أنظمة الاتصالات

(الجزء الأول)



أنظمـــة الاتصـــالات

(الجزء الأول)

تأليف

ريم الدبس



مكتبة المجتمع العربي للنشر

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2004/1/118)

384

الدبس، ريم

أنظمة الإتصالات/ تأليف ريم الدبس. – عمان: مكتبة المجتمع العربي، 2004

( )

ر.إ. : 2004/1/118.

الواصفات: / الإتصالات السلكية واللاسلكية/

* تم إعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية.

الطبعة الأولى

2004م – 1424هـ



مكتبة المجتمع العربي للنشر

عمان – شارع الملك حسين – مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739

ص.ب. 4244 عمان 11121 الأردن

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد الخلق والمرسلين سيدنا محمد صلى الله وعليه وسلم، أما بعد ،،،

فهذا هو كتاب نظم الاتصالات والذي تم بفضل الله وعونه بهذه الصورة، والتي نرجو من الله عز وجل أن يكون هذا الكتاب مرجعاً وعوناً للطلبة والراغبين في التعلم في هذا المجال من العلوم الذي أصبح سمة هذا العصر، الذي يتصف بالتطور والسرعة، وخاصة في مجال الاتصالات، حيث نلاحظ في كل يوم تطوراً سريعاً يظهر في عالم الاتصالات، كالإنترنت والأقمار الصناعية، والألياف الضوئية ... الخ.

حيث يتمحور هذا الكتاب في سبع وحدات رئيسية، وهي: الوحدة الأولى (تطور وخصائص أنظمة الميكرويف) والوحدة الثانية (حسابات الوصلة الراديوية) والوحدة الثالثة (تقنيات أنظمة الميكرويف ذات التعديل الترددي FM) والوحدة الرابعة (العوامل المؤثرة على أنظمة الميكرويف) والوحدة الخامسة (الحماية النظامية وأجهزتها) والوحدة السادسة (تقنيات وخصائص الميكرويف الرقمية) والوحدة السابعة (الرادار) .

ولخيراً نسأل الله أن يكون في هذا العمل فائدة للجميع ونسأله النجاح والتوفيق لجميع الطلبة الأعزاء ولكل من يقرأ هذا الكتاب.

المؤلفة

الفهـــــرس

الوحدة الأولى



الوحدة الأولى:

تطور وخصائص أنظمة الميكرويف

1-1 مقدمة عن خصائص أنظمة الميكرويف وتطورها

Microwave Systems

كلمة " مايكرويف Microwave" تفسر نفسها بنفسها، فهي تعني الموجات القصيرة جدا very short waves. على أي حال، ان ما يقصد بـــ "قصيرة" يعتمد على من الذي يتكلم وما هو الإطار المرجعي له Frame of Reference. بالتأكيد ان الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet لها طول موجي قصير short wave length بالمقارنة مع الأشعة تحت الحمراء infrared ، كما ان 400 دورة في الدقيقة(Hz) تردد عالي High Frequency مقارنة بـ 60 دورة في الدقيقة Hz (وبالتالي طول موجي قصير حيث أن العلاقة بين التردد والطول الموجي علاقة عكسية).

كل الأمثلة المذكورة أعلاه تمثل بعض أشكال الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves، لكنها لا تمثل موجات ميكروية Microwaves. ان الأشعة الميكروية Microwaves تعني الأشعة الكهرومغناطيسية التي تنشأ عن إشعاع Radiation للموجات الكهربائية ذات الترددات العالية التي تتراوح قيمتها تقريبا بين (2- 30 GHz).

ان أعلى تردد (أو أقل طول موجي) للترددات في الطيف الراديوي هي في منطقة الميكرويف. لكن حدود هذه المنطقة ليست معرفة بشكل واضح. ففي الحد الأعلى لتردده فانه يتداخل overlap مع الأشعة تحت الحمراء. وفي الحد الأدنى لتردده تكون التقنية technique وليس التردد هي العامل المحدد.

ان المبادئ الأساسية التي تتضمن underlying الموجات الراديوية المنخفضة التردد والموجات الميكروية تبقى نفسها. وقد يكون الاختلاف الأساسي بين نظام الميكرويف والتقنيات الراديوية الاعتيادية هي في المكونات components المتعلقة بالطول الموجي.

ان لأنظمة الميكرويف عد خصائص مفيدة، واحدة من أهم هذه الخصائص هي ان الطول الموجي للموجات الميكروية له نفس الحجم same size مع أي وحدة تستعمل لتوجيهها أو احتواءها.

ان نبضات الموجات الميكروية تستعمل لحسابات الزمن والمسافة مما يجعلها ملائمة Compatible للعمل مع الحاسب ذو السرعة العالية.

ازدادت أهمية الميكرويف أكثر وأكثر في أنظمة الاتصالات، الرادار Radar، الفضاء Astronomy، الملاحة Navigation، والمجالات الأخرى. والسبب في ذلك يرجع إلى ميزتين Advantages لموجات الميكرويف للإشارات المنخفضة التردد Low Frequency Signals، هما:

1. الميزة الأولى هي عرض النطاق الزائد Increased Bandwidth .
2. الميزة الثانية هي قابلية الميكرويف للاستخدام مع هوائيات موجهة Directive Antennas ذات كسب عالي High Gain.

ان طاقة موجات الميكرويف لها تأثير حراري Heating Effect مثلها مثل أشكال الطاقة المختلفة الأخرى. وان لهذا التأثير الحراري عدة تطبيقات عملية مثل فرن الميكرويف للطبخ المنزلي السريع الذي يطهوالطعام من الداخل والخارج في نفس الوقت.

من أهم التطبيقات Applications الأخرى (على سبيل المثال وليس الحصر) للميكرويف المهمة في عالم الاتصالات Communication وغيره هي:

1. البث Broadcasting، في الوقت الحالي فان بث الراديو والتلفزيون تستعمل الترددات تحت مستوى ترددات الميكرويف. ان الازدحام congestion في عدد القنوات المرسلة يجعل الاستقبال صعب على البعض. وبسبب عدم توفر ترددات لأي زيادة في هذه القنوات للبث في الترددات الراديوية فان الحل يكون باستخدام ترددات في منطقة الميكرويف. وان بعض الدول تستقصي إمكانية البث لقنوات تلفزيونية محلية أو بالأقمار الصناعية على تردد 12GHz.

2. الاتصالات Communication، ان زيادة عرض النطاق Band Width لقنوات الاتصال Channels يتطلب تردد حامل Carrier Frequency ذوقيمة عالية. ان نظام خط النظر المباشر الذي يستخدم المعيدات بقي مستخدما لسنوات عدة، وتوضع أبراج المعيدات التي تستقبل الإشارة وتقويها وتعيد إرسالها إلى المحطة التالية.

كما ان استخدام موجه الموجة الدائري Circular Wave Guide (على تردد 80GHZ) يعطي سعة قنوات تعوّض عن عدد كبير من الكوابل تحت الأرض Underground Cables.

ان موجات الميكرويف هي المستخدمة مع اتصالات الأقمار الصناعية Satellite Systems والاتصالات التي تستخدم الأقمار الصناعية. فقنوات الاتصال الميكروية لها عرض نطاق واسع سيتلاءم مع آلاف الخطوط التليفونية ودزينات من قنوات التلفزيون في نفس الوقت.

3. الرادار Radar، يمثل الرادار الاستخدام التقليدي للميكرويف، ولقد بدأ العمل به في بداية الحرب العالمية الثانية Second World war. ان الكلمة "RADAR" مأخوذة من الأحرف الأولى للمصطلح في اللغة الإنجليزية: RAdio Detection And Ranging. ان أبسط أنواع

الرادارات هو الرادار النبضي pulse radar الذي يعطي دلالة عن موقع الطائرات من خلال حساب الزمن الذي تحتاجه الموجة الموجهة (وصداها) لتصطدم بالطائرة وتعود إلى الرادار وهذه الموجة الموجهة هي كناية عن ضوء ضيق النطاق Narrow Beam Search Line. أما رادار دوبلر Doppler Radar أو CW يعطي دلالة عن سرعة الأجسام.

4. الحاسب الآلي Computers، ان الحاسب يعمل بمعدلات سرعة عالية وبالتالي فان المطلوب دوائر تعمل بترددات عالية. ان تطبيق خطوط النقل Transmission Lines وتقنيات الميكروويف في تصميم نماذج الحواسيب ستصبح ضرورة.

5. الساعات clocks، الساعات الميكروية تقيس التردد للتحولات المتناهية في الصغر لتعطي دقة ثانية لملايين السنين one second per millions of years.

6. قياسات الرطوبة Moisture Measurements، بسبب ان الموجات الميكروية تمتص بواسطة الماء فان قياس نسبة الرطوبة moisture بواسطة الموجات الميكروية أمر ممكن من خلال قياس مقدار التوهين Attenuation في الموجة الميكروية المارة في العينة المراد قياس رطوبتها.

7. التسخين الميكروي Microwave Heating، ان معدل امتصاص Absorption الطاقة للأمواج الميكروية في معظم المواد يتناسب مع المحتوى المائي Water Content فيه. ويستفاد من هذه الخاصية للتسخين الميكروي للمواد.

2-1 الطيف الترددي الميكروي وتقسيمه في العالم

Spectrum Frequency

قسّم الطيف الترددي Frequency Spectrum إلى حزم متتالية موضحة بالجدول التالي:

طول الموجة	مدى الترددات	رمز الحزمة	الحزمة
10 - 1 Mm	30-300 Hz	ELF	Extreme Low Frequency
1 - 0.1 Mm	0.3-3 KHz	SLF	Supper Low Frequency
100 - 10 Km	3-30 KHz	VLF	Very Low Frequency
10 - 1 Km	30-300 KHz	LF	Low Frequency
1 - 0.1 Km	0.3-3 MHz	MF	Medium Frequency
100 - 10 m	3-30 MHz	HF	High Frequency
10 - 1 m	30-300 MHz	VHF	High Frequency Very
100 - 10 cm	0.3-3 GHz	UHF	Ultra High Frequency
10 - 1 cm	3-30 GHz	SHF	Supper High Frequency
1 - 0.1 cm	30-300 GHz	EHF	Extreme High Frequency

ان الطول الموجي Wave Length يتناسب عكسيا مع تردد الموجة Frequency، حسب العلاقة التالية:

$$\lambda = C/F$$

حيث:

C :سرعة الضوء في الفراغ وتساوي 300 Mm/sec

F: تردد الموجة ووحدته بالهرتز Hz.

ان لكل من هذه الحزم استعمالات خاصة نتيجة طبيعة انتشار الموجات Wave Propagation التابعة لكل حزمة وعرض النطاق للحزمة Band

Width (BW)، فالحزم الترددية ليست مصنفة بعرض نطاق واحد. ويحسب عرض النطاق الحزمة حسب القانون التالي:

$$BW = f_h - f_l$$

حيث:

f_h : يمثل التردد العالي للحزمة High Frequency.

f_l : يمثل التردد المنخفض للحزمة Low Frequency.

وفي أنظمة الاتصالات Communication Systems من الضروري توفير سعة كبيرة (عرض نطاق واسع) للتمكن من إرسال عدد كبير من القنوات Channels ، وعند الحديث عن مدى الترددات المطلوبة فالمقصود المطلوبة للموجة المعدلة Modulated (الحاملة Carrier للموجة الصوتية Audio Waves أو غيرها من المعلومات Information Signals ذات الترددات المنخفضة).

وبالتالي ليس من العملي أن نستخدم حزمة LF أو MF مثلا وإنما لتوفير السعة المطلوبة يجب العمل في حزمة الترددات ذات النطاق الواسع مثل:

1. Ultra High Frequency (UHF): ذات المدى الترددي من 0.3-3 GHz . أي أن سعة النطاق لهذه الحزمة تساوي:

$$BW = f_h - f_l$$
$$= 3 - 0.3 = 2.7 \text{ GHz}$$

2. Supper High Frequency (SHF): ذات المدى الترددي من 3-30 GHz . أي أن سعة النطاق لهذه الحزمة تساوي:

$$BW = f_h - f_l$$
$$= 30 - 3 = 27 \text{ GHz}$$

ان معظم القنوات الصوتية Audio Channels للاستعمال المتعدد القنوات تعمل ضمن هذه الحزم. ويتراوح عدد القنوات الصوتية المحمولة على كل حامل بين 60 و 2700 قناة بحسب الحاجة.

مثال1: ما عرض النطاق BW لحزمة الترددات MF؟

الحل:

من الجدول نجد أن مدى ترددات هذه الحزمة يتراوح بين 3- 0.3 MHz، وبالتالي فان عرض لنطاق BW بناء على القانون يساوي:

$$BW = f_h - f_l$$
$$= 3 - 0.3 = 2.7 \text{ MHz}$$

مثال2: ما مدى الطول الموجي Wave Length لترددات تتراوح بين 60- 600MHz ؟

الحل:

بتطبيق قانون الطول لموجي Wave Length عند كل تردد يمكن إيجاد المدى المطلوب:

عند التردد الأول f = 60MHz يكون الطول الموجي:

$$\lambda = C/F$$
$$= 3*10^8 /60*10^6 = 5 \text{ m}$$

عند التردد الأول f = 600MHz يكون الطول الموجي:

$$\lambda = C/F$$
$$= 3*10^8 /600*10^6 = 0.5 \text{ m}$$

يتضح أن مدى الطول الموجي Wave Length يتراوح بين (0.5 - 5)m.

3-1 أنواع أنظمة الاتصالات الميكروية

Microwaves Communication Systems

ان أنظمة الميكرويف Micro Waves كما ذكر سابقا تحتاج إلى حزمة ترددات ذات النطاق الواسع مثل:

1. Ultra High Frequency (UHF): ذات المدى الترددي من 0.3-3 GHz.
2. Supper High Frequency (SHF): ذات المدى الترددي من 3-30 GHz.

ان أنظمة الاتصالات الميكروية هي:

1. **نظام الاتصال بخط النظر المباشر Line of Sight (L.O.S) أو نظام الانتشار المباشر للموجة Direct Wave Propagation**. حيث يكون انتشار حزمة الموجات من المرسلة Transmitter بخط مستقيم مباشرة باتجاه المستقبلة Receiver.

   ان انتشار الموجات بخط النظر المباشر (L.O.S) يكون محدود المسافة على سطح الكرة الأرضية بسبب انحناء الأرض Curvature of Earth. لذلك فان في هذه الأنظمة تشكل المحطات المعيدة الميكروية (محطات تقوية الإشارة Relay Station) جزء مهم لضمان إيصال الأمواج المرسلة للمسافات الطويلة وبمعدل محطة معيدة كل 30-50Km. مثال على ذلك المسار بين العقبة وعمان توجد 5 محطات تقوية في مسافة مقدارها 300Km.

   أي أن نظام خط النظر المباشر (أو الأنظمة الميكروية الأرضية) يتكون من:

   أ. أطراف Terminals تمثل المرسلة والمستقبلة المعنية بالإرسال.

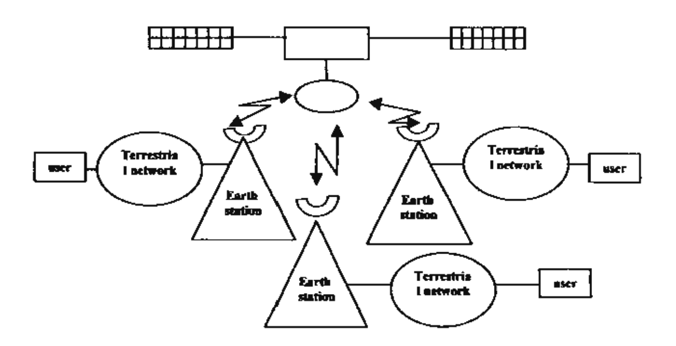
ب.محطات تقوية أو محطات معيدة لتقوية الإشارة وإعادة بثها لتأمين وصولها من طرف الإرسال إلى طرف الاستقبال، والمسافة بين كل محطتي إعادة تتراوح بين 30-50 Km.

ان قدرة المرسلات P_t في أنظمة خط النظر المباشر تتراوح بين 10-0.25 watt. ويوجد في محطات الإعادة نظام تحكم أوتوماتيكي Automatic Control System الذي يوفر اتصال كهربائي أوتوماتيكي بين المحطة وباقي المحطات عند حدوث عطل (ويختلف نوع الاتصال باختلاف العطل الواقع في المحطة)، ولذلك لا يوجد فني صيانة Technician Maintenance مشرفون إشراف مباشر على هذه المحطات.

ان لمحطات الإعادة في أنظمة المباشرة المميزات التالية:

1. تعد هذه المحطات رخيصة نسبيا ، حيث أنها أرخص من باقي الأنظمة التي تتعامل مع القنوات ذات الحزم الترددية العريضة Wide Band Width. خاصة إذا ما قورنت بتكلفة أنظمة الأقمار الصناعية Satellite Systems.
2. تمثل الحل المثالي المناسب في الأراضي كثيرة التلال التي يصعب الربط بين أطرافها لما تشكله المرتفعات من حواجز تحول دون انتشار الموجات.
3. يعد النظام من أكثر الأنظمة اعتمادا خاصة إذا ما توفرت أجهزة احتياطية في المحطات التي تستبدل مع أي جهاز يحدث فيه عطل.

2. **أنظمة الأقمار الصناعية المتزامنة Synchronous Satellite Systems** : ويبين المخطط التالي مبدأ عمل هذا النظام:



حيث يتم الإرسال من المحطة الأرضية Earth Station إلى القمر الصناعي Satellite الموجود في الفراغ الخارجي (على ارتفاع ثابت يساوي 36 Mm فوق خط الاستواء لتحقيق التوازن للقمر في الفراغ) ويقوم هذا القمر باستقبال الإشارة وتقويتها وإعادة بثها إلى باقي المحطات الأرضية ومنها للمستخدمين Users. أي أن القمر الصناعي يعمل كمحطة تقوية (محطة معيدة فضائية) بين المحطات الأرضية Earth Stations والتي يلزمها قنوات اتصال. أن هذا النظام متبع في الأردن في محطة الأقمار الصناعية الموجودة في منطقة البقعة.

أن مساحة البث التي يغطيها البث بالأقمار الصناعية أكبر بكثير من المساحة التي يغطيها نظام خط النظر المباشر (L.O.S). حيث يغطي البث

مساحة واسعة تؤمن الإرسال بين بلدين أو أكثر ولو كانت بينهما مسافة طويلة.

3. **أنظمة التشتت التربوسفيرية Troposphere Scatter Systems:**

يعتمد هذا النظام على ظاهرة تشتت الموجات Scattering عند طبقات الجوالتربوسفيرية Troposphere العليا ذات الكثافة المنخفضة (بسبب خفة وزن الهواء في تلك الطبقات)، فتنحني الأمواج المنتشرة بخط مستقيم نتيجة الانكساريات المتتالية (الناتجة عن انتقال الأشعة من وسط كثيف إلى وسط أقل منه كثافة). ان نظام التشتت التربوسفيري يستعمل 2400-24 قناة بين محطتي إعادة أرضية يفصل بينهما مسافة تساوي 300Km. ان نظام التشتت التربوسفيري Troposphere Scatter System غير مستخدم في الأردن.

4-1 تقنيات التعديل الميكروي وسعة القنوات Capacity of Channels

ان حزمة الترددات المستخدمة في أنظمة الميكرويف Microwaves Systems وان كانت كبيرة لكنها تبقى محدودة Limited ولذلك لا بد من استخدامها الاستخدام الأمثل لتوفير أكبر عدد من القنوات Channels.

ان الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunication Union (ITN) قسّم الطيف الترددي Frequency Spectrum إلى عدة حزم جزئية تخصص كل مجموعة بأنواع معينة من أنظمة الاتصال (راديو Radio، تلفزيون Television، هواتف خلوية Mobile Phones، أغراض عسكرية Military،أقمار صناعية Satellite، أنظمة التشتت التربوسفيرية وما إلى ذلك).

أن الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunication Union (ITN) صاغ عدد من المواصفات Regulations التي تحدد هذه التقسيمات الترددية بناء على عدد الاعتبارات منها:

1. نوع نظام الاتصال Communication Systems الذي يستعمل الحزمة الترددية (الأنواع السابقة الذكر). مثلا المواصفات الدولية الخاصة بأنظمة التلفزيون تحدد عرض الحزمة للمحطة الواحدة ونوع التعديل المستخدم لنقل الصوت والتردد الحامل له Sound Carrier والتردد الحامل للصورة Video Carrier والتردد الحامل للألوان Color Sub-carrier وقيمة الإزاحة القصوى Maximum Deviation للصوت وغيرها من المواصفات الخاصة بهذا النظام.

   وان قيمة هذه المواصفات تختلف بحسب نوع النظام المستخدم إذا كان أو روبي (CCIR) أو أمريكي (FCC).

2. تقنية الأجهزة المستخدمة في النظام Technique of Equipments. مثلا في القنوات الراديوية Radio Stations التي تستعمل التعديل الترددي FM يكون العرض النموذجي للحزمة للمحطة الواحدة يساوي 200KHz في حين أن يكون العرض النموذجي للحزمة للمحطة الواحدة التي تستعمل التعديل السعوي AM يساوي 10KHz.

3. التكلفة Cost فكلما زاد عرض النطاق BW المطلوب للنظام كلما ازدادت تكلفته. وكلما ازدادت قدرة الإشارة المستخدمة Power كلما ازدادت تكلفته، أيضا.

لتوضيح مفهوم المواصفات الدولية، لنفرض عدم وجودها فكيف يكون الحال عندئذ؟

عندئذ، إذا أرادت محطة إرسال موجة صوتية مثلا فعلى أي تردد ستبث؟ وبأي عرض نطاق BW؟ وهل هذا النطاق شاغر بالكامل فقط لهذه المحطة؟ وفي أي حزمة ترددية؟ وهل سيكون التردد محجوز أم شاغر الاستعمال؟ وهذه الترددات مناسبة للمحطات الصوتية؟

بوجود المواصفات الدولية تصبح هذه الأمور أكثر وضوحا مما يزيد الكفاءة Efficiency ويضمن العمل بالفعالية القصوى Maximum Activity.

لأهمية هذه المواصفات فقد قبلتها كل دول العالم تقريبا. وقد تم وضع المواصفات الخاصة بحزمة الترددات التي تتراوح تقريبا بين (7.11- 1.7) GHz كما هو موضح في الجدول التالي:

مدى الترددGHz	القنوات الراديوية الكلية (الأزواج)	قنوات حماية	القنوات الصوتية لكل قناة راديوية	القنوات الصوتية الكلية	ملاحظات
1.7-1.9	6	1	300	1500	العدد الكلي للقنوات الصوتية محسوب للقنوات العاملة في الحالة الاعتيادية
1.9-2.1	6	1	300	1500	
2.1-2.3	6	1	300	1500	
3.8-4.2	6	1	1800	9000	تستعمل في الإرسال من القمر الصناعي إلى المحطة الأرضية Down Link
5.925-6.425	8	2	1800	10800	
6.43-7.11	16 8	- 2	960 2700	- 16200	تستعمل في الأردن- للهواتف والتلفزيون
7.125-7.425	10	-	300	3000	

7.425-7.725	-	-	-	-	تستعمل في الأردن للتراسل التلفزيوني
7.725-8.275	8	2	1800	10800	
10.7-11.7	12	2	1800	1800	تستعمل في الأردن للأنظمة الرقمية Digital systems

لم يتم الاستفادة من الترددات العالية (فوق 12GHz) حتى وقت قريب.

ان كل حزمة من هذه الحزم يقسم بدوره إلى عدد من الحاملات الراديوية المنظمة في هيئة أزواج، وكل زوج يتكون من التردد الحامل للموجة المرسلة والتردد الحامل للموجة المستقبلة (للمحطة المرسلة والمستقبلة). وفي كل حزمة لا تعمل كل الأزواج الترددية في الحالة الاعتيادية وإنما يبقى زوج أو زوجين (حسب الحزمة) كاحتياط يشغلوا في حالة ضغط العمل أو العطل في أي من الأزواج العاملة الرئيسية.

ومن الجدول نجد أن لحزمة الترددات من 5.925- 6.425 GHz ستة أزواج أساسية واثنين كاحتياط وفي ما يلي توضيح لقيم ترددات هذه الأزواج الثمانية وتوزيع تردد كل زوج أعلى وأدنى من التردد المركزي للحزمة Central frequency:

رقم الزوج	التردد أعلى من التردد المركزي MHz	التردد أدنى من التردد المركزي MHz
1	6197.24	5945.2
2	6226.89	5974.85
3	6256.54	6004.5
4	6286.19	6034.15
5	6315.84	6063.8
6	49.6345	6093.45
7	6375.14	6123.1
8	6404.79	6152.75

والتردد المركزي Central frequency للحزمة يساوي:

$$\text{Central frequency} = (F_h + F_l)/2$$

يتم حساب عرض الحزمة Band Width (BW) على النحو التالي:

$$BW = Fh - Fl$$

حيث يمثل كل من:

F_h : الحد الترددي الأعلى High Frequency للحزمة.

F_l : الحد الترددي الأدنى Low Frequency للحزمة.

وبالتالي فانه لحزمة الترددات من 5.925- 6.425 GHz ، التردد المركزي يساوي:

$$\text{Central frequency} = (6.425 + 5.925)/2$$
$$= 6.175 \text{ GHz}$$

عرض الحزمة Band Width (BW) لهذه الحزمة يساوي:

$$BW = 6.425 - 5.925$$
$$= 0.2 \text{ GHz}$$

وكما ذكر سابقا ان ستة فقط من هذه الأزواج الثمانية التي تعمل في الحالة الاعتيادية، ومن الجدول نجد أن كل زوج من الترددات يعطي 1800 قناة صوتية وبالتالي فان العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة في الحالتين الاعتيادية والقصوى يساويان:

في الحالة الاعتيادية:

العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة = القنوات الراديوية العاملة * القنوات الصوتية للقناة الراديوية الواحدة

وعدد القنوات الراديوية العاملة يعطى بالعلاقة:

عدد القنوات الراديوية العاملة = القنوات الراديوية الكلية – قنوات الحماية

أما في الحالة القصوى للعمل الذي نستخدم فيها قنوات الحماية فان:

العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة = القنوات الراديوية الكلية * القنوات الصوتية للقناة الراديوية الواحدة

وبالتالي يتبين من الجدول أن لحزمة الترددات من 5.925- 6.425 GHz تكون القيمة:

في الحالة الاعتيادية:

عدد القنوات الراديوية العاملة = 8 – 2 = 6 قنوات.

وبالتالي فان:

العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة = 6 *1800 = 10800 قناة صوتية.

وفي الحالة القصوى للعمل:

العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة = 8 *1800 = 14400 قناة صوتية.

ومن الجدير بالذكر أنه لا يشترط استخدام قنوات الحماية بشكل إضافي للقنوات الأساسية وإنما يمكن استخدامها في حالة عطل أي من القنوات الأساسية بشكل تعويضي فيبقى العدد الكلي للقنوات العاملة يساوي ستة قنوات (في هذه الحزمة).

ان حزمة 7 GHz تستعمل بشكل كبير في الأردن، حيث تقسم إلى حزمتين جزئيتين :

1. الحزمة الجانبية العليا: تستعمل للتلفزيون.
2. الحزمة الجانبية السفلى: تستعمل للهواتف.

مثال1: استعن بجدول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترددات 2.1-2.3 GHz :

1. التردد المركزي Central Frequency.
2. عرض الحزمة Band Width .
3. عدد القنوات الراديوية العاملة.
4. عدد القنوات الصوتية الكلية (في الحالتين العادية والقصوى).

الحل:

من الجدول يمكن الحصول على المعلومات الضرورية للحل، حيث:

عدد القنوات الراديوية الكلية = 6 قنوات.

عدد القنوات الصوتية لكل قناة راديوية = 300 قناة

1. التردد المركزي Central frequency للحزمة يساوي:

$$Central\ frequency = (Fh + Fl)/2$$
$$= (2.3 + 2.1)/2$$
$$= 2.2\ GHz$$

2. يتم حساب عرض الحزمة Band Width (BW) على النحو التالي:

$$BW = Fh - Fl$$
$$= 2.3 - 2.1$$
$$= 0.2\ GHz$$

3. عدد القنوات الراديوية العاملة = القنوات الراديوية الكلية – قنوات الحماية

=6 – 1 = 5.قنوات

4. في الحالة الاعتيادية:

العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة = القنوات الراديوية العاملة * القنوات الصوتية للقناة الراديوية الواحدة

= 300 * 5 = 1500 قناة (كما هو واضح في الجدول)

أما في الحالة القصوى للعمل الذي نستخدم فيها قنوات الحماية فان:

العدد الكلي للقنوات الصوتية العاملة = القنوات الراديوية الكلية * القنوات الصوتية للقناة الراديوية الواحدة

= 300 * 6 = 1800 قناة.

أسئلة الوحدة الأولى

س1) ما المقصود بمصطلح "مايكرويف Microwaves" ؟

س2) ما الترددات المستخدمة في أنظمة الميكرويف Microwave Systems؟

س3) ما الذي يحدد حدود التردد للطيف الميكروي؟

س4) وضح مميزات الترددات الميكروية نسبة إلى الترددات الراديوية المنخفضة.

س5) ما دور الترددات الميكروية في تطور الاتصالات؟

س6) هوائي رادار Antenna of Radar يرسل إشارات بتردد 10 GHz، فما هو الطول الموجي Wave Length للإشارة المرسلة؟

س7) هوائي رادار Antenna of Radar يرسل إشارات بتردد 20 GHz، فما هو الطول الموجي Wave Length للإشارة المرسلة؟

س8) ما هي سرعة الأمواج الكهرومغناطيسية في الفراغ؟

س9) موجه موجة wave guide يرسل إشارات بتردد 80 GHz، فما هو الطول الموجي Wave Length للإشارة المرسلة؟

س10) ما عدد القنوات الراديوية Radio Channels المعدلة تعديل ترددي FM التي يمكن إرسالها خلال حزمة ترددية عرضها 1MHz؟

س11) ما عدد القنوات الراديوية Radio Channels المعدلة تعديل سعوي AM التي يمكن إرسالها خلال حزمة ترددية عرضها 1MHz؟

س12) ما وظيفة الرادار النبضي Pulse Radar ؟

س13) ما وظيفة رادار دوبلر Doppler Radar ؟

س14) ما مبدأ عمل فرن الميكرويف المنزلي Microwave oven ؟

س15) ما سبب الحاجة إلى استخدام ترددات الميكرويف Microwaves في دوائر الحاسب؟

س16) ما العلاقة بين الرطوبة moisture والأمواج الميكروية Microwaves ؟

س17) ما عرض النطاق BW لحزمة الترددات UHF؟

س18) ما عرض النطاق BW لحزمة الترددات VHF؟

س19) ما مدى الطول الموجي Wave Length لترددات تتراوح بين 30-2 GHz ؟

س20) ما مدى الطول الموجي Wave Length لترددات تتراوح بين 30-2 MHz ؟

س21) ما تردد موجة يبلغ الطول الموجي لها 2 mm ؟

س22) ما تردد موجة يبلغ الطول الموجي لها 2 µm ؟

س23) ما هي حزم الترددات المستخدمة في أنظمة الميكرويفMicrowaves؟ ما سبب استخدام هذه الحزم الترددية عن غيرها؟

س24) ما أنظمة الاتصالات الميكروية Microwaves Communication Systems ؟

س25) ما الاعتبارات التي تأخذها ITU في الاعتبار عند وضع المواصفات الدولية للحزم الترددية؟

س26) ما تأثير تقنية الأجهزة المستخدمة في النظام Technique of Equipments في المواصفات الدولية للحزم الترددية؟

س27) ما الاستعمال الرئيسي للترددات 10.7-11.7 في الأردن؟

س27) ما الاستعمال الرئيسي للترددات 6.43-7.11 في الأردن؟ كيف تقسم هذه الحزمة الترددية على هذه الاستعمالات؟

س28) ما أهمية قنوات الحماية؟

س29) ما أنظمة الاتصالات الميكروية Microwaves Communication Systems المستخدمة في الأردن؟

س30) ما مبدأ عمل نظام الأقمار الصناعية Satellite Systems؟

س31) ما مبدأ عمل أنظمة التشتت التربوسفيرية Troposphere Scatter Systems ؟

س32) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يساوي 12 قناة، وعدد قنوات الحماية تساوي 2، فما عدد القنوات الراديوية العاملة لهذه الحزمة؟

س33) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يساوي 10 قنوات، وعدد قنوات الحماية تساوي 2، فما عدد القنوات الراديوية العاملة لهذه الحزمة؟

س34) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يساوي 10 قنوات، وعدد قنوات الحماية تساوي 2، وعدد القنوات الصوتية لكل قناة راديوية تساوي 300 قناة، فما العدد الكلي القنوات الصوتية في الحالتين الاعتيادية وحالة العمل القصوى ؟

س35) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يساوي 12 قنوات، وعدد قنوات الحماية تساوي 2، وعدد القنوات الصوتية لكل قناة راديوية تساوي 600 قناة، فما العدد الكلي القنوات الصوتية في الحالتين الاعتيادية وحالة العمل القصوى ؟

س36) استعن بجدول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترددات 7.125- 7.425 GHz :

1. التردد المركزي Central Frequency.
2. عرض الحزمة Band Width .
3. عدد القنوات الراديوية العاملة.
4. عدد القنوات الصوتية الكلية .

س37) استعن بجدول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترددات 10.7- 11.7 GHz :

1. التردد المركزي Central Frequency.
2. عرض الحزمة Band Width .
3. عدد القنوات الراديوية العاملة.
4. عدد القنوات الصوتية الكلية (في الحالتين العادية والقصوى).

س38) استعن بجدول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترددات 7.725-8.275GHz :

1. التردد المركزي Central Frequency.
2. عرض الحزمة Band Width .
3. عدد القنوات الراديوية العاملة.
4. عدد القنوات الصوتية الكلية (في الحالتين العادية والقصوى).

الوحدة الثانية



حسابات الوصلة الراديوية

الوحدة الثانية:

حسابات الوصلة الراديوية

2-1 خواص انتشار الأمواج الميكروية

microwaves propagation

ان الإشارات الكهربائية ذات الترددات المختلفة تبث بواسطة هوائي المرسلة Transmitter لتتحول إلى موجات كهرومغناطيسية تنتقل عبر الهواء أو الفراغ الخارجي حتى تصل إلى هوائي المستقبلة Receiver والذي يلتقط الموجة ويعيد تحويلها إلى إشارة كهربائية مشابهة للإشارة الأصلية.

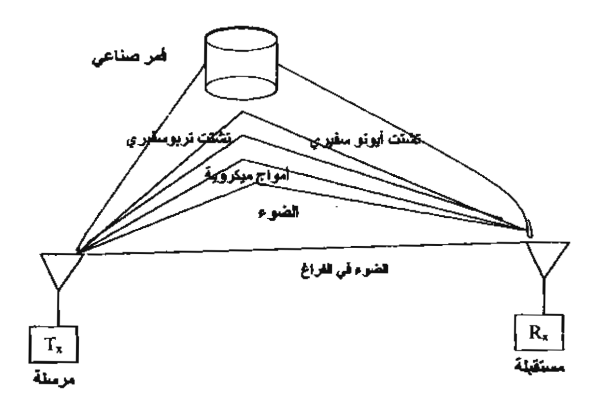
وعملية انتقال الموجات الميكروية من المرسلة إلى المستقبلة تتم بأكثر من طريقة. فقد تنتقل الموجات بشكل مباشر من المرسلة إلى المستقبلة. وقد تتعرض الموجة خلال انتقالها إلى تغير في خواص الوسط الناقل (حيث ان طبقات الجو المختلفة ليست متجانسة حيث تقل كثافة الهواء كلما ارتفعنا عن سطح الأرض ، كم أن نسبة الرطوبة فوق سطح البحر أعلى بكثير من قيمتها فوق اليابسة، وغيرها من التغيرات). وهذا التغير في كثافة الوسط الناقل يؤدي إلى انكسار الموجات الميكروية وبالتالي عند المستقبل يتم استقبال الموجة المنكسرة ذات فرق في الطور عن الموجة الأصلية.

وسيلة أخرى لإرسال واستقبال الموجات الميكروية هي بواسطة الأقمار الصناعية Satellites، حيث تبث الموجات من هوائي المرسلة إلى القمر الاصطناعي الذي يستقبل تلك الموجة ويعيد إرسالها إلى هوائي المستقبلة الأرضي، والميزة الخاصة بهذه الطريقة كبر المساحة التي يغطيها البث.

أي يمكن تلخيص الطرق التي يتم بها نقل الموجات الراديوية بما يلي:

1. نظام الانتشار المباشر من المرسلة إلى المستقبلة، أي نظام خط النظر المباشر Line of Sight (LOS) والتي يمكن تمثيلها بخط مستقيم متجه من المرسلة إلى المستقبلة.
2. بواسطة الأقمار الصناعية Satellites.
3. انعكاس الأمواج عن سطح الأرض (أو سطح أملس) وارتدادها ووصول الموجة المنعكسة Reflected Waves إلى المستقبلة.
4. التشتت التريوسفيري Scattering و/أو الحيود Diffraction.

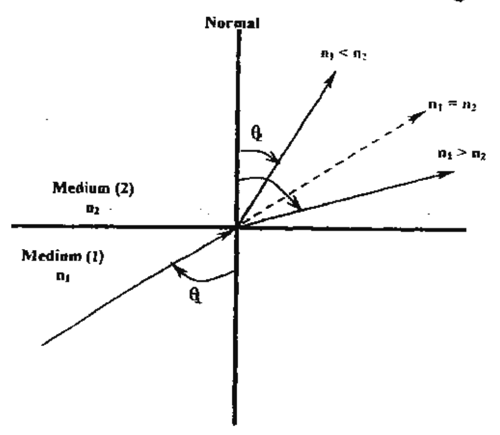
والشكل التالي يوضح للطرق المختلفة لانتقال الموجات الميكروية:



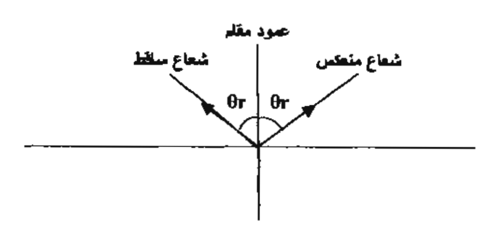
أن موضوع دراستنا في هذه المرحلة هو نظام خط النظر المباشر قرب سطح الأرض (نظام انتشار الموجات المباشر) ذو مسافات النقل المحددة. والموجات الميكروية في هذه الحالة تنتشر تقريبا بخط مستقيم كما الأشعة

الضوئية وبالتالي لهما تقريبا نفس الخصائص الفيزيائية والتي يمكن تلخيصها بما يلي:

1. عند انتقال الموجة من وسط إلى آخر يختلف عنه في الكثافة تتعرض الموجة إلى ظاهرة الانكسار، وتبرز هنا حالتين :إما ان الموجة كانت في الوسط الكثيف وانتقلت إلى الوسط الأقل كثافة، أو أنها كانت في الوسط الأقل كثافة وانتقلت إلى الوسط الأكثر كثافة. والشكل التالي يمثل وضع الشعاع المنكسر لكل من الحالتين:



2. عند تعرض الموجة إلى سطح أملس أو الأراضي الرطبة والمروية Irrigated Lands أو سطوح الماء فإنها تتعرض إلى الانعكاس بزاوية سقوط تساوي زاوية الانعكاس (وتقاس كل منهما نسبة إلى العمود المقام على السطح العاكس). والشكل التالي يوضح كل من الشعاع الساقط والمنعكس والعمود المقام وزاويتي السقوط والانعكاس:



3. تؤثر الحواجز الصلبة كالبنايات والجبال والتلال في انتشار الموجات، حيث لا تسمح بمرور الموجات بشكل مباشر(لا يمنع ذلك من انتقال جزء من الموجة تبعا لظاهرة هايجينز).

2-2 شدة المجال Intensity

غالبا ما يتم تمثيل انتشار الموجات الميكروية (أو الضوئية) بخطوط مستقيمة. ولكن هذا التمثيل لا يفي بالغرض لشرح كافة الظاهر التي تتعرض لها تلك الموجات. وبالتالي نحتاج إلى طريقة تمثيل أخرى تكون مناسبة لشرح هذه الظواهر. ولذلك سنمثل الموجات كأنها موجات كروية (تنتشر بشكل دوائر كحال الموجات المتكونة على سطح ماء راكد عند إلقاء حجر فيه).

ونعلم أن مصدر الموجة هو هوائي المرسلة، وعند النظر إليه من مسافات بعيدة يظهر لنا كنقطة وبالتالي يمكن تمثيل مصدر الموجات بنقطة (أي اعتباره مصدر نقطي). والموجات المرسلة تأخذ شكل دوائر منبعثة من هذا المصدر النقطي ومنتشرة إلى جميع الاتجاهات بشكل منتظم.

يقوم هوائي المرسل ببث الموجات الميكروية بقدرة معينة Power (P_t) والتي يجب أن تكون كبيرة بالقدر الكافي الذي يسمح لها بالوصول بشكل جيد ومقروء إلى المستقبلة. ولكن هذه قدرة الموجة المستقبلة سوف تتناقص بشكل

تدريجي كلما ابتعدنا عن المصدر. ويصبح ما يهمنا معرفته هو شدة المجال عند نقطة معينة من المنطقة التي يغطيها البث.

تعرف شدة مجال وجة عند نقطة معينة بنسبة قدرة الموجة المرسلة P_t إلى مساحة البث عند تلك النقطة A ووحدتها $Watt/m^2$.وتحسب هذه المساحة بعد معرفة المسافة بين نقطة المراد قياس شدة المجال عندها (التي تمثل نصف قطر دائرة البث R) عى النحو التالي:

$$A= 4\pi R^2$$

وبالتالي يمكن كتابة قانون شدة المجال على النحو التالي:

$$I= P_t/ A= Pt/4\pi R^2$$

نلاحظ ان العلاقة بين شدة المجال والمسافة تخضع لقانون التربيع العكسي، حيث تتناسب شدة المجال تناسب عكسي مع مربع المسافة بين المرسلة ونقطة القياس.ولتوضيح قانون التربيع العكسي سنستعرض المثال التالي.إذا فرضنا أن لدينا مصدر ضوء نقطي Point Source فان شدة الإضاءة بالقرب من المصدر تكون كبيرة ، ولكنها تتناقص كلما ابتعدنا عن المصدر وبنسبة تتناسب مع مربع البعد عنه، أي أن لورجلين يقفان بالقرب من المصدر، أحدهما على مسافة R1 والأخر يقف على مسافة تساوي ضعف مسافة الأول R2=2R1 ، فان شدة الإضاءة في النقطة التي يقف فيها الشخص الأول تساوي:

$$I_1 = P_t/4\pi R_1^2$$

وشدة الإضاءة في النقطة التي يقف فيها الشخص الثاني تساوي:

$$I_2 = P_t/4\pi R_2^2 = P_t/4\pi (2*R_1)^2$$
$$= P_t/16\pi R_2^2 = I_1/4$$
$$I_2 / I_1 = 4$$

أي أن بزيادة المسافة إلى الضعف قلت شدة الإضاءة إلى الربع.

ونفس القانون ينطبق على العلاقة بين شدة الموجة الميكروية وعلاقتها ببعد المسافة عن نقطة القياس.

مثال1: إذا كانت قدرة الموجة المرسلة P_t=100w ، فما قيمة شدة المجال للموجة عند نقطة تبعد عنها مسافة 20 Km ؟

الحل:

بتطبيق القانون الذي يعطي العلاقة بين البعد وشدة المجال نحصل على:

$$I = P_t / A = Pt/4\pi R^2$$

$$= 100 / 4\pi (20 * 10^3)^2 = 199 \ \text{mwatt/m}^2$$

مثال2: ما النسبة بين شدة المجال لموجة عند نقطة تبعد عن المصدر مسافة R_1 وشدة المجال عند نقطة أخرى تبعد عن المصدر مسافة $R=3R_1$؟

الحل:

نحسب شدة المجال عند كل نقطة ثم نجد النسبة بين القيمتين:

$$I_1 = P_t/4\pi R_1^2$$

$$I_2 = P_t/4\pi R_2^2 = P_t/4\pi (3*R_1)^2$$

$$= P_t/36\pi R_1$$

بقسمة I_2 على I_1 نحصل على النسبة المطلوبة:

$$I_2/ I_1 = (P_t/36\pi R_1)/(P_t/4\pi R_1^2)$$

$$= 1/9$$

مثال3: إذا كانت قدرة الموجة المرسلة يساوي 150 watt ، فعلى أي بعد يجب ان يكون هوائي المستقبلة لتحقيق شدة مجال تساوي $2\mu w/m^2$ ؟

الحل:

بتطبيق القانون الذي يعطي العلاقة بين البعد وشدة المجال نحصل على:

$$I = P_t / A = Pt/4\pi R^2$$

$$R = \sqrt{(Pt/4\pi * I)}$$

$$=\sqrt{(150/4\pi*2*10^{-6})}$$
$$=\sqrt{5968310}=2.443\ Km$$

مثال4: ما القدرة التي يجب أن نرسل بها الموجة لكي نحصل على شدة مجال للموجة يساوي $0.1\mu w/m^2$ عند مستقبلة تقع على بعد 10Km من المرسلة؟

الحل:

بتطبيق القانون الذي يعطي العلاقة بين البعد وشدة المجال نحصل على:

$$I= P_t/ A= Pt/4\pi\ R^2$$
$$P_t = I*4\pi *R^2$$
$$= 0.1*10^{-6}*4\pi* (10*10^3)^2$$
$$= 130\ watt$$

3-2 قدرة الموجة المستقبلة Power of Received Wave

كما ذكرنا سابقا قوم هوائي المرسلة بإرسال الموجات بقدرة إرسال معينة P_t وكلما ابتعدنا عن نقطة الإرسال تضعف الإشارة بنسبة تتناسب عكسيا مع مربع البعد عنها (علاقة شدة المجال بالمسافة).

وبالتالي فعندما نضع هوائي استقبال على مسافة R من المرسلة فان المتوقع أن قدرة الموجة المستقبلة P_t تكون أقل من القدرة المرسلة ولكنها تتناسب مع قيمة الموجة المرسلة تناسب طردي ، أي كلما زادت قيمة الموجة المرسلة تزداد قيمة الموجة المستقبلة. ويمكن التعبير عن هذه العلاقة على النحو التالي:

$$P_r \alpha P_t$$

كما أن من العوامل الأخرى التي تؤثر على قيمة القدرة المستقبلة هو الهوائي Antenna المستخدم (لكل من المرسلة والمستقبلة). فلكل هوائي مقدار

كسب خاص به G وكلما كانت قيمة هذا الكسب أكبر كلما كانت قيمة القدرة المستقبلة كانت كبيرة، أي أن العلاقة بين القدرة المستقبلة وكسب الهوائيين (G_t,G_r) علاقة طردية تمثل بالعلاقة التالية:

$$P_r \,\alpha\, G_t\, G_r$$

وبناء على قانون العكسي فان العلاقة بين القدرة المرسلة والمسافة بين هوائي المرسلة وهوائي المستقبلةD هي علاقة عكسية تربيعية، ويمكن تمثيل هذه العلاقة على النحو التالي:

$$P_r \,\alpha\, 1/D^2$$

عامل آخر يؤثر على قيمة القدرة المستقبلة وهو تردد الموجة المرسلة Frequency حيث أن العلاقة تربيعية عكسية بينهما ، أو يمكن القول ان العلاقة تربيعية طردية بين القدرة المرسلة والطول الموجي λ بناء على العلاقة التي تربط التردد f بالطول الموجي λ وهي:

$$\lambda = c/f = 3*10^8/f$$

حيث تمثل c سرعة الضوء في الفراغ.

وبالتالي يمكن كتابة العلاقة بين القدرة المرسلة وكل من التردد أو الطول الموجي على النحو التالي:

$$P_r \,\alpha\, (1/ f)^2$$

$$P_r \,\alpha\, \lambda^2$$

ذلك يدل على أن الأمواج الميكروية والضوئية يشتركان فيما يلي:

1. العلاقة التربيعية العكسية مع التردد.
2. قانون التربيع العكسي مع المسافة.

بناء على كل ما ذكر يمكن تلخيص العوامل التي تعتمد عليها قيمة القدرة المرسلة بالعوامل التالية:

1. قدرة الموجة المرسلة P_t.
2. تردد الموجة المرسلة (أو الطول الموجي لها).
3. المسافة بين هوائي المرسلة وهوائي المستقبلةD .

فيمكن كتابة العلاقة النهائية لقدرة الموجة المستقبلة على النحو التالي:

$$P_t = P_r\ G_t\ G_r\ \lambda^2 /(4\pi\ D)^2$$

Or

$$P_t = P_r\ G_t\ G_r c^2 /(4\pi * f * D)^2$$

غالبا ما يعد معامل كسب الهوائي (سواء كان هوائي المرسلة أو هوائي المستقبلة) يساوي 1، مما يبسط المعادلتين الأخيرتين إلى:

$$P_t = P_r (\lambda /4\pi\ D)^2$$

Or

$$P_t = P_r (c /4\pi * f * D)^2$$

وبواسطة أي من هاتين المعادلتين يمكننا معرفة النسبة بين قدرة الموجة المرسلة P_t وقدرة الموجة المستقبلة P_r، فنجد أن هذه النسبة هي :

$$P_t / P_r = (\lambda /4\pi\ D)^2$$

Or

$$P_t / P_r =(c /4\pi * f * D)^2$$

مثال1: جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي 100 watt والتردد المستخدم في الإرسال يساوي 15MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد 50Km عن المرسلة. ثم أو جد النسبة بين القدرة المستقبلة والقدرة المرسلة.

الحل:

بالتطبيق المباشر لمعادلة القدرة المرسلة نحصل على:

$$P_t = P_r (c / 4\pi * f * D)^2$$
$$= 100\ (3*10^8/4\pi*15*10^6*50*10^3)^2$$
$$= 0.1\ \mu w$$

لإيجاد النسبة بين القدرة المستقبلة والقدرة المرسلة نقسم القيمة الأولى على الثانية فنحصل على:

$$P_t / P_r = 0.1 * 10^{-6}/100 = 0.1 * 10^{-8}$$

نلاحظ أن نسبة ما يصل المستقبلة من القدرة المرسلة هو قيمة قليلة.

مثال2: جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي 1000 watt والتردد المستخدم في الإرسال يتراوح بين 15MHz و30MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد 50Km عن المرسلة.

الحل:

أن قيمة القدرة المستقبلة سوف يتراوح بين قيمتين تبعا لقيمة التردد اللحظي المستخدم. ولإيجاد حدود مدى القدرة المستقبلة يجب حساب قيمته عند قيمتي التردد العليا والسفلى:

أولا: القدرة المستقبلة عند تردد 15MHz:

$$P_t = P_r (c / 4\pi * f * D)^2$$
$$= 1000\ (3*10^8/4\pi*15*10^6*50*10^3)^2$$
$$= 1\ \mu w$$

ثانيا: القدرة المستقبلة عند تردد 30MHz :

$$P_t = P_r (c / 4\pi * f * D)^2$$
$$= 1000\ (3*10^8/4\pi*30*10^6*50*10^3)^2$$
$$= 0.25\ \mu w$$

إذا ان قيمة القدرة المستقبلة يتراوح بين (0.25 μw , 1 μw).

لاحظنا في هذا المثال كيف قلت قيمة القدرة المستقبلة إلى الربع عند زيادة التردد إلى الضعف (علاقة عكسية تربيعية).

مثال3: أعد الإجابة على المثال السابق إذا علمت أن لهوائي المرسلة معامل كسب يساوي 2 وأن لهوائي المستقبلة معامل كسب يساوي 4.

الحل:

في هذه الحالة نطبق المعادلة الأصلية لحساب القدرة المستقبلة والتي نأخذ فيها معامل كسب كل هوائي بعين الاعتبار ونعيد الخطوات التي نفذناها في المثال السابق.

أولا: القدرة المستقبلة عند تردد 15MHz:

$$P_t = P_r G_t G_r (c/4\pi * f * D)^2$$
$$= 1000*2*4*(3*10^8/4\pi*15*10^6*50*10^3)^2$$
$$= 8\ \mu w$$

ثانيا: القدرة المستقبلة عند تردد 30MHz :

$$P_t = P_r G_t G_r (c/4\pi * f * D)^2$$
$$= 1000*2*4*(3*10^8/4\pi*30*10^6*50*10^3)^2$$
$$= 2\ \mu w$$

إذا أن قيمة القدرة المستقبلة يتراوح في هذه الحالة بين(8 μw , 2 μw).

4-2 فقد الفراغ الخارجي Free Space Losses (F.S.L)

كما تعلمنا فان الموجة المرسلة عبر هوائي المرسل إلى الفراغ الخارجي تتعرض إلى عوامل كثيرة تؤدي إلى إضعافها، فلا تصل إلى هوائي المستقبل بنفس القيمة التي أرسلت بها. وعلمنا أن عوامل كثيرة تؤثر في قيمة القدرة المستقبلة لخصت بما يلي:

1. قدرة الموجة المرسلة P_t.

2. تردد الموجة المرسلة (أو الطول الموجي لها).

3. المسافة بين هوائي المرسلة وهوائي المستقبلة D .

وحصلنا على معادلة النسبة بين القدرة المرسلة والقدرة المستقبلة بالشكل النهائي التالي (على فرض أن معامل كسب الهوائي يساوي 1):

$$P_t / P_r = (c / 4\pi * f * D)^2$$

وبما أن هذه المعادلة تمثل نسبة النهائية الواصلة للمستقبل (القدرة المستقبلة) إلى قيمة القدرة المرسلة من المرسل،فهي تمثل معامل الكسب أو الفقد الذي تعرضت له الموجة (وفي حالة الأمواج الميكروية المرسلة عبر الهوائي فان ما نحسبه هنا يمثل الفقد وليس الكسب لأننا لا نتوقع أن تزداد القدرة عند هوائي المستقبل وإنما تنخفض وبشكل ملحوظ كما سبق ودرسنا). فيمكن التعبير بصورة لوغاريتمية (بالديسيبل) عن مقدار الفقد في الفراغ الخارجي (F.S.L) الذي تتعرض له الموجة بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} F.S.L &= -10 \, Log[\, (c / 4\pi * f * D)^2] \\ &= -20 \, Log[c / 4\pi * f * D] \\ &= -20 \, [\, Log(c/4\pi) - Log(f) - Log(D)] \\ &= -20 \, [\, Log(3*10^8/4\pi) - Log(f) - Log(D)] \\ &= -147.5 + 20 \, Log(f) + 20 Log(D) \qquad dB \end{aligned}$$

ان الإشارة السالبة في القانون دلالة على أن الحاصل هوفقد وليس كسب. وتكون وحدة كل من التردد والمسافة عند تطبيقها في هذا القانون على النحو التالي:

التردد: يحسب بالهرتز Hz.

المسافة: تحسب بالمتر m.

وإذا أردنا تطبيق التردد بوحدة MHz والمسافة بوحدة Km فيجب تعديل القانون على النحو التالي:

$$F.S.L = -147.5 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$
$$= -147.6 + 20\,Log(f * 10^6) + 20Log(D * 10^3)$$
$$= -147.5 + 20\,Log(f) + 20\,Log(10^6) + 20Log(D) + 20Log(10^3)$$
$$= -147.5 + 120 + 60 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$
$$= 32.5 + 20\,Log(f) + 20Log(D) \qquad dB$$

وإذا أردنا تطبيق التردد بوحدة GHz والمسافة بوحدة Km فيجب تعديل القانون على النحو التالي:

$$F.S.L = -147.5 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$
$$= -147.5 + 20\,Log(f * 10^9) + 20Log(D * 10^3)$$
$$= -147.5 + 20\,Log(f) + 20\,Log(10^9) + 20Log(D) + 20Log(10^3)$$
$$= -147.5 + 180 + 60 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$
$$= 92.5 + 20\,Log(f) + 20Log(D) \qquad dB$$

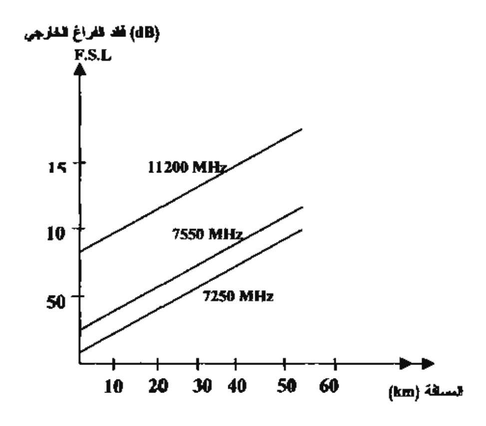
وبنفس الأسلوب نستطيع أن نجد العلاقة للتطبيق المباشر لإيجاد فقد الفراغ الخارجي إذا كانت الوحدة المستخدمة للتردد هي MHz والوحدة المستخدمة للمسافة هي mile ، فنحصل على العلاقة التالية:

$$F.S.L = 36.6 + 20\,Log(f) + 20Log(D) \qquad dB$$

كل المعادلات المذكورة التي تربط فقد الفراغ الخارجي بالتردد والمسافة توضح أن العلاقة طردية لوغاريتمية بين :

1. فقد الفراغ الخارجي والتردد.
2. فقد الفراغ الخارجي والمسافة.

فمثلا بزيادة المسافة إلى الضعف يزداد فقد الفراغ الخارجي بمقدار $20Log(2)=6$ dB، والمخطط التالي يوضح العلاقة بين فقد الفراغ الخارجي وكل من المسافة عند ترددات مختلفة:



مثال1: ما قيمة فقد الفراغ الخارجي لموجة ترددها 20MHz، إذا كانت المسافة بين المرسل والمستقبل تساوي 45KHz ؟

الحل:

بالإمكان تطبيق المعادلة الأساسية لإيجاد قيمة فقد الفراغ الخارجي على النحو التالي:

$$F.S.L = -147.5 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$
$$= -147.5 + 20\,Log(20*10^6) + 20Log(45*10^3)$$
$$= -147.5 + 146 + 93$$
$$= 91.5\ dB$$

أو من الممكن تطبيق المعادلة الخاصة بالترددات بوحدة MHz والمسافة بوحدة Km، فنحصل على:

$$F.S.L = 32.5 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$
$$= 32.5 + 20\,Log(20) + 20Log(45)$$
$$= 32.5 + 26 + 33$$
$$= 91.5\ dB$$

نلاحظ أننا حصلنا على النتيجة نفسها بكل من الطريقتين.

مثال2: جد المسافة (بالميل) التي يجب أن نضع عندها هوائي المستقبلة إذا أردنا الحصول على فقد فراغ خارجي لا يتعدى 100 dB . إذا كان التردد المستخدم في الإرسال يساوي 10 MHz ؟

الحل:

من الأنسب أن نستخدم المعادلة التي ستعطينا المسافة بالميل مباشرة:

$$F.S.L = 36.6 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$

$$100 = 36.6 + 20\,Log(10) + 20Log(D)$$

$$20Log(D) = 100 - 36.6 - 20\,Log(10)$$

$$= 100 - 36.6 - 20$$

$$= 43.4$$

$$Log(D) = 43.4/20 = 2.17$$

$$D = Log^{-1}(2.17) = 147.9\ mile$$

مثال3: ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا انخفض التردد للموجة المرسلة إلى النصف؟

الحل:

يجب أن نجد معادلة فقد الفراغ الخارجي العامة للحالة الأولى وللحالة الثانية بعد انخفاض التردد إلى النصف ونجد الفرق بين المعادلتين والذي يمثل التغير في قيمة الفقد الخارجي:

الحالة الأولى: التردد = f

$$F.S.L_1 = 36.6 + 20\,Log(f) + 20Log(D)$$

الحالة الثانية: التردد = f/2

$$F.S.L_2 = 36.6 + 20\,Log(f/2) + 20Log(D)$$

$$= 36.6 + 20\,Log(f) - 20\,Log(2) + 20Log(D)$$

$$= 36.6 + 20\ Log(f) + 20Log(D) - 6$$

وبإيجاد الفرق بين المعادلتين نحصل على قيمة التغير المطلوبة:

$$F.S.L_2 - F.S.L_1 = [36.6 + 20\ Log(f) + 20Log(D) - 6] - [36.6 + 20\ Log(f) + 20Log(D)]$$

$$= -6\ dB$$

أي لن قيمة فقد الفراغ الخارجي انخفضت بمقدار 6 dB عند انخفاض التردد إلى النصف.

مثال4: ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا ارتفع كل من المسافة والتردد للموجة المرسلة إلى الضعف؟

الحل:

كما في المثال السابق سنجد معادلة فقد الفراغ الخارجي العامة للحالة الأولى وللحالة الثانية بعد زيادة التردد والمسافة إلى الضعف ونجد الفرق بين المعادلتين والذي يمثل التغير في قيمة الفقد الخارجي:

الحالة الأولى: التردد=f والمسافة =D

$$F.S.L_1 = 32.5 + 20\ Log(f) + 20Log(D) \quad dB$$

الحالة الأولى: التردد=2f والمسافة =2D

$$F.S.L_2 = 32.5 + 20\ Log(2f) + 20Log(2D) \quad dB$$

$$= 32.5 + 20\ Log(f) + 20\ Log(2) + 20Log(D) + 20Log(2)$$

$$F.S.L_2 = 32.5 + 20\ Log(f) + 20Log(D) + 6 + 6$$

$$= 32.5 + 20\ Log(f) + 20Log(D) + 12$$

وبإيجاد للفرق بين المعادلتين نحصل على قيمة التغير المطلوبة:

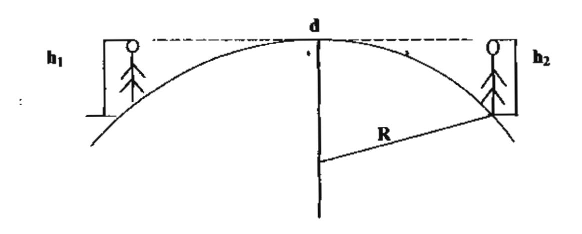
$$F.S.L_2 - F.S.L_1 = [36.6 + 20\ Log(f) + 20Log(D) + 12] - [36.6 + 20\ Log(f) + 20Log(D)]$$

$$= 12\ dB$$

أي ان قيمة فقد الفراغ الخارجي ازدادت بمقدار 12 dB عند زيادة كل من التردد والمسافة إلى الضعف.

5-2 تأثير انحناء الأرض في انتشار الأمواج الميكروية

كما نعلم ان الأرض ليست مستوية وإنما كروية الشكل. ولذلك فان رؤية الأشياء على سطح الأرض محددة بمسافة معينة، مثلا لا يستطيع الإنسان رؤية السفينة القادمة في البحر إلا بعد وصولها لنقطة معينة منه. وبكلمات أخرى، فان خط النظر المباشر لا يصل إلى ما لانهاية وإنما محصور بمسافات محددة تتناسب مع طول الشخص ونصف قطر الأرض ومدى انحناء الأرض في المنطقة. والشكل التالي يوضح هذا المفهوم:



وما يقال عن خط نظر للإنسان يقال عن انتقال الأمواج الميكروية انتقال مباشر (خط النظر المباشر). فالأمواج المنتقلة بخط النظر المباشر لا يمكنها للوصول إلى مختلف الأماكن على سطح الأرض أو إلى مسافات متناهية في البعد، وإنما تحدد المسافة التي يصل إليها البث بمدى ارتفاع كل من هوائي المرسلة والمستقبلة عن سطح الأرض.

لا بد من تحديد العلاقة التي تربط ارتفاع شخصين (أو هوائيين) والمدى الذي يستطيع خط النظر المباشر بالوصول له، بمعنى آخر يجب تحديد العلاقة بين أقصى مسافة يبعد بها شخصين أو هوائيين عن بعضهما البعض بحيث يبقى بإمكان كل منهما رؤية الآخر.

لإيجاد هذه العلاقة من الشكل السابق تحدد أولا بعض الرموز المستخدمة وهي:

h_1 : ارتفاع (طول) للجسم الأول عن سطح الأرض.

h_2 : ارتفاع (طول) للجسم الثاني عن سطح الأرض.

r : نصف قطر الكرة الأرضية ويساوي 6370Km.

d : أقصى مسافة بين الجسمين يصله خط النظر المباشر L.O.S.

من الشكل السابق نميز مثلثين قائمي الزاوية. المثلث الأول له الضلعين (d_1,r) وله الوتر $(r+h_1)$، والمثلث الثاني له الضلعين(d_2,r) وله الوتر $(r+h_2)$. وبتطبيق قاعدة فيثاغورس على كل منهما نحصل على:

$$(r+h_1)^2 = d_1^2 + r^2$$
$$r^2 + 2rh_1 + h_1^2 = d_1^2 + r^2$$
$$2rh_1 + h_1^2 = d_1^2$$

وبما أن قيمة h_1 صغيرة جدا (بالأمتار) نسبة إلى r (بالكيلومترات) فان تربيعها يمكن إهماله فتصبح المعادلة الأخيرة على النحو التالي:

$$2rh_1 = d_1^2$$
$$d_1 = \sqrt{2rh_1}$$

وبتطبيق نفس المعادلات على المثلث الآخر نحصل على نفس النتيجة:

$$d_2 = \sqrt{2rh_2}$$

وبالتالي فان أقصى مسافة بين الجسمين يصله خط النظر المباشر L.O.S تساوي:

$$d = d_1 + d_2$$
$$= \sqrt{2rh_1} + \sqrt{2rh_2}$$
$$= \sqrt{2r}\,[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\,]$$
$$= 3.57\,[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\,]$$

حيث h_1 وh_2 بالأمتار، وd بالكيلومترات.

مثال1: ما أطول مسافة تفصل بين رجلين طول الأول 180cm وطول الثاني 170cm بحيث يستطيع كل منهما رؤية الآخر بخط نظر مباشر؟

الحل:

بالتطبيق المباشر للعلاقة السابقة مع مراعاة الوحدات المستخدمة في المعادلة، نجد أن:

$$d = 3.57\,[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\,]$$
$$= 3.57\,[\sqrt{1.8} + \sqrt{1.7}\,]$$
$$= 9.44\ Km$$

مثال2: إذا كان هوائي المرسلة على ارتفاع 50m والمسافة بين المرسلة والمستقبلة 75Km ، فعلى أي ارتفاع يجب أن يوضع هوائي المستقبلة لكي تصل الأمواج المرسلة بخط مباشر؟

الحل:

بالتطبيق المباشر للعلاقة السابقة مع مراعاة الوحدات المستخدمة في المعادلة، نجد أن:

$$d = 3.57\,[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\,]$$
$$75 = 3.57\,[\sqrt{50} + \sqrt{h_2}\,]$$
$$\sqrt{50} + \sqrt{h_2} = 75/3.57$$
$$\sqrt{h_2} = 21 + 7 = 28$$

$$h_2 = 5.3\ m$$

أي يجب أن نضع هوائي المستقبلة على ارتفاع 5.3m عن سطح الأرض كحد أدنى لكي يتمكن من التقاط الموجة المنتشرة بخط النظر المباشر من المرسل.

غالبا ما يوضع هوائي المستقبلة على ارتفاع أقل من الارتفاع الذي يكون عليه هوائي المرسلة. ولا يمنع هذا القانون من أخذ أمور كثيرة بعين الاعتبار التي تحكم المسافة بين الهوائيين كطبيعة الأرض وما عليها من تضاريس كالجبال والتلال أو الوديان أو البنايات والأشجار التي يمكن ان تحجب الرؤية (أو تقف حاجز دون مرور الأمواج المرسلة) فقد نحتاج في مثل هذه الحالات أن نضع الهوائي على ارتفاع أعلى من الارتفاع المحسوب بناء على القانون المذكور أعلاه.

2-6 العوامل المؤثرة على ارتفاع الهوائيات

ان الارتفاعات التي يجب أن توضع عليها الهوائيات ليست عشوائية وإنما تحكم بعدة عوامل. وهذه العوامل تحدد تبعا للمسارات التي تنتشر بها الموجة من المرسلة إلى المستقبلة:

1. مسار مباشر Direct :أمواج منتشرة انتشار مباشر (خط النظر المباشر Direct Waves (L.O.S
2. مسار غير مباشر Indirect : ممثل بالأمواج المنعكسة عن الأسطح الملساء Reflected Waves.
3. مسار غير مباشر Indirect : ممثل بالأمواج لمنكسرة عن طبقات الجو المختلفة الكثافة Refracted Waves .

ان كل من هذه الأمواج يؤثر في تحديد ارتفاع الهوائي بشكل معين. فالأمواج المنتشرة بخط النظر المباشر بين مرسلة ومستقبلة بينهما مسافة محددة تحكم ارتفاع كل من الهوائيين تبعا للعلاقة التي تم اشتقاقها في الموضوع السابق، وهي:

$$d = 3.57 [\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}]$$

فإذا كانت المسافة معينة بين المرسل والمستقبل وكان هوائي المرسل على ارتفاع معين، فان هوائي المستقبل يجب ان يخضع للعلاقة المذكورة لتحديد ارتفاعه عن سطح الأرض.

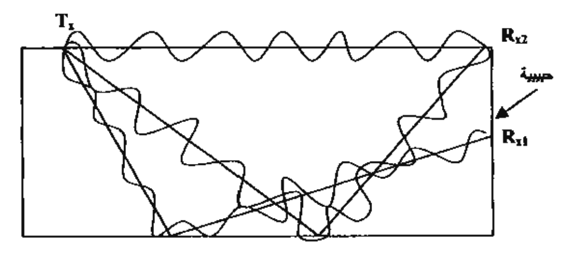
ان الموجة المرسلة تنعكس عن الأسطح الملساء كالتربة الرطبة والمروية أو سطح البحر بزاوية سقوط مساوية لزاوية الانعكاس. وبالتالي تسلك أشعة الأمواج المنعكسة مسار غير مباشر لكي تصل إلى نقطة الاستقبال. ومن خواص انعكاس الأشعة حدوث فرق طور Phase Shift بين شعاع موجة المسار المباشر وشعاع الموجة المنعكسة Reflected مقداره 180° إذا كان للموجتين نفس طول المسار أو بفارق طول موجة كاملة أو عدد صحيح من مضاعفاتها ($\pm n\lambda$)، حيث n تمثل أي عدد صحيح. وعند اجتماع هاتين الموجتين عند هوائي المستقبل ستلغي إحداهما الأخرى (لا يستقبل المستقبل أي موجة).

وعند زيادة ارتفاع أبراج الهوائيات فان الفارق بين المسافة المقطوعة في الموجة المباشرة والموجة المنعكسة يزداد، فإذا ما تمت معايرة ارتفاع الأبراج ليكون هذا الفرق مساوي لنصف طول الموجة ($\lambda/2$) فان فرق طور Phase Shift آخر مقداره 180° سوف ينتج بين الموجتين، وبالتالي يصبح فرق الصفحة الكلي بين الموجتين يساوي 360° وبالتالي سيتم جمع الموجتين

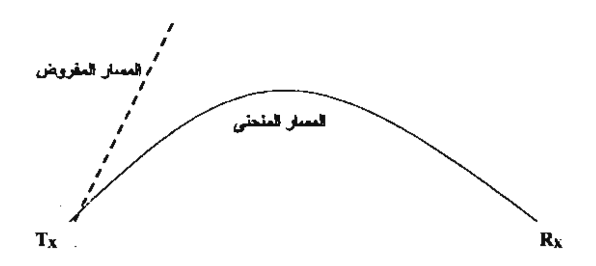
عند هوائي المستقبل عوضا عن إلغاء إحداهما الأخرى (يتم تعزيز الموجة عند هوائي الاستقبال لدرجة تصل إلى الضعف).

أما إذا ما تمت معايرة ارتفاع الأبراج ليكون هذا الفرق مساوي لأي قيمة نسبة للطول الموجي ولكن ليس بالضبط $\lambda/2$ أو λ، ففي هذه الحالة أيضا ينتج فرق طور بين الموجتين ولكن بقيم تتراوح بين 0° و180° وبالتالي عند جمع الموجتين المجتمعتين عند هوائي المستقبل نحصل على موجة ذات قيمة تبعا لقيمة الزاوية.

والشكل التالي يوضح الموجتين المباشرة والمنعكسة وتأثير ارتفاع الهوائي على الموجة المحصلة منهما:



ان طبقات الجو المحيطة بالكرة الأرضية غير متجانسة، فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قلت كمية الغازات الموجودة وبالتالي انخفضت كثافة الهواء في تلك الطبقة. ونتيجة هذا الاختلاف في الكثافة بين طبقات الجو المختلفة (الطبقة الأيونسفيرية والتروبوسفيرية) فان أشعة الموجات الميكروية سوف تتعرض للانكسار Reflection عند مرورها من طبقة إلى أخرى. وإذا ما تعرضت الموجة إلى عدة إنكسارات متتالية فستبدو وكأنها منحنية متجهة من المرسل باتجاه المستقبل كما هو موضح في الشكل التالي:



ويجب أن يعاير ارتفاع الهوائيات بحيث يستطيع هوائي المستقبل التقاط الموجة المنعكسة.

ان العوامل الجوية المختلفة من الرياح والرطوبة والأمطار والحرارة ومستوى بخار الماء والضغط وغيرها يؤثر في عملية الإرسال والاستقبال أيضا. حيث تؤثر على شكل انحناء الموجة من المرسل إلى المستقبل.

نعرف أولا العامل K عامل تحدد قيمته تبعا للظروف والعوامل الجوية المختلفة السابقة الذكر ونظرا لكون هذه الظروف غير ثابتة وإنما متغيرة خلال المسار الذي تقطعه الموجة فان هذا العامل أيضا متغير وليس ثابت القيمة كونه معيار لهذه الظروف. فعند انتقال الموجة من المرسل T_x إلى المستقبل R_x فان العامل K يحدد طبيعة انحناء الموجة. وبالإمكان تمييز ثلاث حالات:

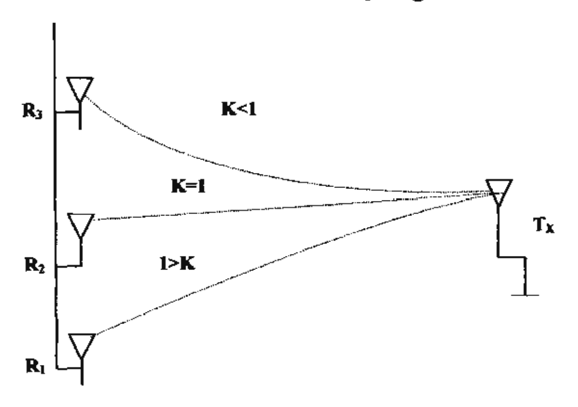
1. K>1 : في هذه الحالة تنحني حزمة الأشعة للأسفل، وهذه هي الحالة الاعتيادية Normal والتي يجب ان يعاير فيها ارتفاع هوائي المستقبل R_x ليكون على مستوى أقل من ارتفاع هوائي المرسل T_x.
2. K<1 : في هذه الحالة تنحني حزمة الأشعة للأعلى، وهي حالة غير اعتيادية Abnormal، ويجب ان يعاير ارتفاع هوائي المستقبل R_x

ليكون على مستوى أعلى من ارتفاع هوائي المرسل T_x. عند انحناء الموجة نحو الأعلى فإنها تتعرض لخفوت كبير.

3. $K=1$: في مثل هذه الحالة الخاصة تتبع حزمة الأشعة مسار خط مباشر ، ويجب ان يعاير فيها ارتفاع هوائي للمستقبل R_x ليكون على نفس ارتفاع هوائي المرسل T_x.

وكما ذكرنا فان قيمة K ليست ثابتة خلال مسار الموجة كله وإنما تتغير بتغير الظروف الجوية وبالتالي فيمكن أن تكون حزمة الأشعة منحنية للأعلى في منطقة ومنحنية إلى الأسفل في منطقة أخرى أو تسير بخط مستقيم في منطقة ثالثة.

والشكل التالي يوضح أسلوب انحناء الموجة تبعا لقيمة العامل K وتأثير ذلك على ارتفاع هوائي المستقبل:



مثال1: إذا كان تردد الموجة المرسلة يساوي 300MHz، الشرط الذي يجب تحقيقه في ارتفاع برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال عوضا عن طرحهما؟

الحل:

إذا تمت معايرة ارتفاع البرج ليكون الفرق بين مسار الموجتين مساوي لنصف طول الموجة ($\lambda/2$) فان فرق طور Phase Shift آخر مقداره 180^o سوف ينتج بين الموجتين، وبالتالي يصبح فرق الصفحة الكلي بين الموجتين يساوي 360^o وبالتالي سيتم جمع الموجتين عند هوائي المستقبل عوضا عن إلغاء إحداهما الأخرى.

وفي هذه الحالة فان λ تساوي:

$$\lambda = c/f$$
$$= 3*10^8 / 300*10^6$$
$$= 1$$

إذن يجب معايرة ارتفاع البرج ليكون الفرق بين مسار الموجتين 0.5m.

مثال2: إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية:

$$E(t) = 20 \sin(2*10^{10}t)$$

فأجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل؟
2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟

4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 100^o فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

الحل:

1. لن الموجة المنعكسة لها نفس معادلة الموجة الأصلية ولكن بفرق طور 180^o فتصبح معادلة الموجة المنعكسة على النحو التالي:

$$E_r(t) = 20 \sin(2*10^{10}t + 180^o)$$

محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل هي ناتج الجمع , يساوي صفر بسبب فرق الطور 180^o

$$E_{total}(t) = 20 \sin(2*10^{10}t + 180^o) + 20 \sin(2*10^{10}t)$$
$$= -20 \sin(2*10^{10}t) + 20 \sin(2*10^{10}t)$$
$$= 0$$

2. من الموجة الأصلية نجد أن السرعة الزاوية $\omega=2*10^{10}$ وبالتالي فان التردد يساوي:

$$f= \omega/2\pi$$
$$= 2*10^{10}/2\pi = 3.2 *10^9 \text{ Hz}$$

وبالتالي فان الطول الموجي يساوي:

$$\lambda=c/f$$
$$= 3*10^8/3.2 *10^9 = 0.094$$

3. على ارتفاع يحقق فرق في المسافة بين المسار المباشر والمنعكس بقيمة $\lambda/2$ والتي تساوي :

$$\lambda/2 = 0.094/2 = 0.047$$

4. في هذه الحالة فان علاقة الموجة المنعكسة تكون على النحو التالي:

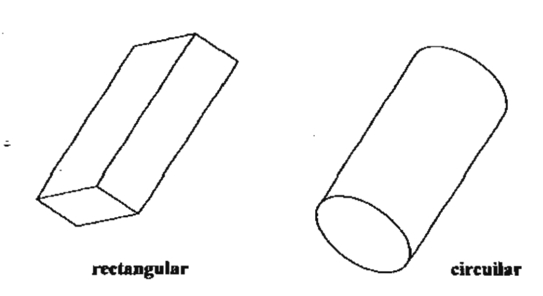
$$E_r(t) = 20 \sin(2*10^{10}t + 100^o)$$

محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل هي ناتج الجمع:

$$E_{total}(t) = 20\sin(2*10^{10}t + 100^{o}) + 20\sin(2*10^{10}t)$$
$$= 25.7\sin(2*10^{10}t + 50)$$

7-2 فقد موجة الموجه Losses of Wave Guide

لاحظنا أن الأمواج الكهرومغناطيسية تنتقل من نقطة إلى أخرى بينما يتم بثها إلى جميع الاتجاهات. ومن الممكن توجيه الموجة لكي تنتقل من نقطة محددة إلى نقطة محددة أخرى في نظام مغلق من خلال التعامل مع موجه الموجة Wave Guide. وهومكون من موصل محاط بمادة عازلة يحمل الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves. ويوجد منه أنواع مختلفة مثل الدائري Circular والمستطيل Rectangular، نسبة إلى شكل المقطع العرضي للأنبوب (الموجه). كما هوموضح في الشكل التالي:



ويتصرف موجه الموجه كمصفي تمرير الحزمة العالية High Pass Filter. وتتعرض الموجة المارة داخل الموجه إلى فقد عند الترددات العالية (فوق تردد القطع للموجه) للأسباب التالية:

1. الخسارة الناتجة عن التيارات المارة في جدران الموجه.

2. الخسارة الناتجة بسبب وجود العوازل بين صفائح الموجه.

3. عدم انتظام أجزاء الموجه ونقاط عدم الاتصال فيه تسبب انعكاسات للموجة.

وتعتمد قيمة هذه الخسائر على :

1. نوع المادة المكونة لجدران الموجه.

2. مدى خشونة جدران الموجه.

3. نوع المادة العازلة الموجودة بين جدران الموجه.

ويمكن التقليل من قيمة هذه الخسائر بطلي الجدران الداخلية المبطنة للموجه بالذهب أو البلاتينيوم.

وحيث أن موجه الموجه يتصرف كمصفى تمرير الحزمة العالية High Pass Filter، فان توهينا عاليا يحدث للموجة في الترددات دون تردد القطع ويكون هذا التوهين بسبب انعكاسات الموجة عند مدخل الموجه عوضا عن انتشارها.

8-2 نظام الهوائي ومعامل كسبه Antenna and its Gain

كلما ازداد كسب الهوائي المستخدم (سواء في المرسلة أو المستقبلة) كلما ازدادت قيمة القدرة المستقبلة. ان استعمال هوائي صغير يجب أن يرافقه نظام إرسال ذو قدرة عالية، الأمر الذي يتطلب استخدام وحدات إضافية لزيادة القدرة التي تتطلب زيادة حجم البطاريات Battery والشاحن Charger والمضخمات Amplifiers وغيرها من الأدوات المساعدة لهذا الغرض.

نلاحظ التكلفة الإضافية المترتبة عن استخدام هوائي صغير، لذلك غالبا ما يستخدم هوائي ذو كسب فعال في الأنظمة الميكروية Microwaves Systems ذات خط النظر المباشر L.O.S.

ان عمل الهوائي في المستقبل R_x هو التقاط للموجة المطلوبة والتي تم بثها من مرسلة معينة T_x، ولكن الهوائي لا يحتوي على نظام ذكاء اصطناعي تمكنه من معرفة الموجة المطلوبة المحددة من بين جميع الموجات المنتشرة في الفراغ، ولذلك فان الفعالية Activity التي يستقبل بها الهوائي الموجة المطلوبة لا تمثل كفاءته الفعلية.

ان كسب الهوائي المستخدم (في كل من المرسل والمستقبل) يجب أن يحقق قدرة استقبال أعلى من القيمة الدنيا التي يمكن فهم الموجة المستقبلة بها والتي لا يستطيع نظام الاستقبال تمييز الموجات دون هذا المستوى.

ان هوائي المحطات الأرضية يجب ان تحقق الشروط التالية:

1. يجب ان يكون له كسب عالي موجه Highly Directive Gain.
2. يجب ان يكون للهوائي درجة حرارة منخفضة نتيجة الضجيج Low Noise Temperature.
3. يجب أن يكون الهوائي قابل للتحرك بسهولة ليتم توجيهه بالاتجاه المطلوب.

يوجد عدة أنواع مختلفة من الهوائيات التي تستخدم في أنظمة البث المختلفة سواء خط النظر المباشر L.O.S أو أنظمة الأقمار الصناعية Satellite Systems أو الرادار Radar أو الاتصالات المتحركة Mobile Communications، وغيرها من الأنظمة، ولكل نظام الهوائيات التي تتكيف مع طبيعة العمل والترددات المستخدمة له.

ومن الجدير بالمعرفة للطيف الترددي لأنظمة الأقمار الصناعية والموضحة بالجدول التالي:

Frequency Band	Range in GHz
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
KU	12-18
K	18-27
Ka	24-40
Millimeter	300

وفي ما يختص بنظام خط النظر المباشر L.O.S ، فان الهوائيات المستخدمة في هذا النظام هي:

1. هوائي القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector
2. هوائي كاسيجرين Cassegrain
3. الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector
4. هوائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas

علمنا من المواضيع السابق طرحها في هذه الوحدة أن القدرة المستقبلة P_r بواسطة هوائي المستقبل Receiver تعتمد على عوامل عدة (لقد تم مناقشة تأثير الثلاثة نقاط الأولى بالتفصيل في ما سبق من المواضيع) هي:

1. القدرة المرسلة Transmitted Power(P_t)
2. التردد أو الطول الموجي للموجة Frequency or Wave Length
3. كسب هوائيات المرسلة والمستقبلة Gain of Antennas

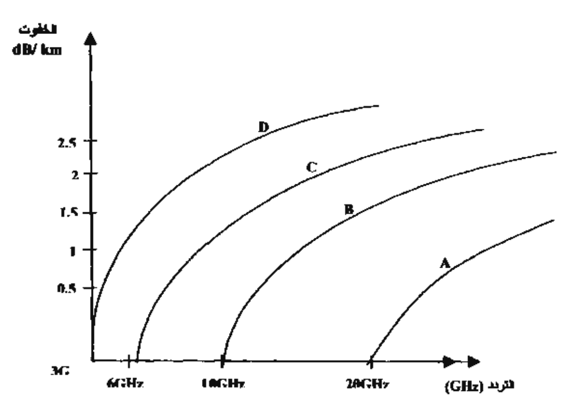
4. الخفوت في المسار Attenuation : يحدث للموجة خلال انتشارها انخفاض في مستوى الإشارة نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب التالية:

أ. خفوت التداخل: بسلوك الموجة المرسلة عدة مسارات سينتج عدد من الموجات ذات الأطوار Phases المختلفة. ويتداخل هذه الموجات يحدث إضعاف لمستوى الموجة المستلمة عند هوائي المستقبلة. فعند انعكاس الموجة عن سطح أملس يحدث فرق طور 180° وعند المستقبلة تجمع الموجتين المباشرة والمنعكسة فتلغي إحداهما الأخرى. وقد تحدث عدة انعكاسات للموجة المرسلة لتنتج إشارة بخسارة متغيرة ويعد النظام في هذه الحالة انه يعاني من خفوت متعدد المسارات والذي من أهم خصائصه الخفوت العميق لفترات زمنية قصيرة والتي يحدث خلالها فشل في الاستقبال. ويمكن التحكم بهذا الخفوت من خلال معايرة ارتفاع الهوائيات.

ويسمى هذا النوع أيضا (خفوت اختياري).

ب. الانكسار الجوي Atmospheric Refraction. ويسمى أيضا (خفوت القدرة Power Fading) ويحدث هذا النوع من الخفوت Fading في ظروف جوية غير اعتيادية وتكون شدة الخفوت أقل ولن منحنى الإشارة المستقبلة Received signals يتعرض لتغيرات عشوائية Random بطيئة.

ج. الامتصاص الجوي Atmospheric Absorption. والذي يحدث نتيجة للمطار والثلج ويكون تأثيره كبير جدا في الترددات الميكروية العالية، والشكل التالي يوضح العلاقة بين الخفوت (dB/Km) وبين التردد (GHz):



نلاحظ أن الخفوت (الخسارة لكل 1Km في المسار) في الإشارة عند التردد 7 GHz (الذي يستعمل للإرسال التلفزيوني والهواتف في الأردن كما ذكر سابقا) تكون قليلة نسبيا، ويزداد الخفوت (التوهين) Attenuation بازدياد التردد حتى يصبح حاد عند تردد 12 GHz . ان التردد الأخير هو المستخدم للأنظمة الرقمية في الأردن وبالتالي فان التوهين للناتج عن الأمطار يجب ان يؤخذ بعين الاعتبار.

ان هذه الخسارة الإضافية في القدرة تحدث خلال جزء من الثانية ولكن ما يهم هو قيمة هذه الخسارة، وان الأعطال غير المعدودة تجمع كل فترة زمنية قصيرة ولذلك يعرف الخفوت كنسبة من الوقت للسنة.

وفي ما يلي شرح لكل نوع من هذه الهوائيات وتركيبه وخصائصه.

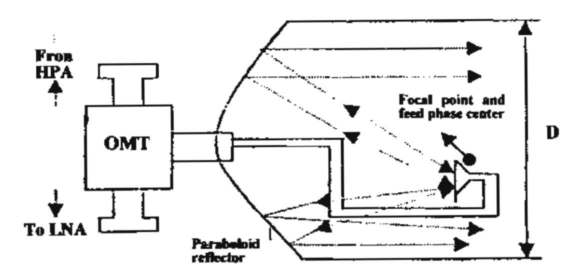
1-8-2 هوائي القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector

هو هوائي ذو عاكس على شكل قطع مكافئ وله نقطة تغذية مركزية focal point of feeding . ومبدأ عمله مشابهة لعمل الضوء الأمامي للسيارة. فلو أن الضوء كان مسلط بشكل مباشر إلى الشارع فان الإضاءة كانت ستتوزع على كل الفراغ الأمامي للسيارة ولا تتم الإنارة المطلوبة أمام السيارة. ولكن ما يحدث أنه يوضع عاكس على شكل قطع مكافئ خلف مصباح الإضاءة وبالتالي تنعكس الأشعة على هذا السطح وتتركز لتجتمع في نقطة واحدة هي بؤرة Focus للقطع المكافئ حيث تكون نقطة البؤرة أمام السيارة بشكل يسمح بالرؤية الجيدة.

كذلك يتم عمل هوائي القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector حيث تنعكس الأشعة القادمة من كافة الاتجاهات عن هذا السطح العاكس لتتمركز في البؤرة التي توجد عند المغذي البؤري الذي يلتقط الموجة وينقلها إلى مكبر الضجيج القليل Low Noise Amplifier (LNA) .

وما يحدث في هوائي المرسلة أمر مماثل حيث يقوم مكبر القدرة العالية High Power Amplifier (HPA) بتكبير الإشارة ثم تحول إلى المغذي البوري الذي يقوم ببث الأشعة التي تسقط على السطح العاكس وبعد الانعكاس تركز الأشعة في حزمة باتجاه المحطة التالية المقابلة. ويتم ضبط توجيه الهوائي في اتجاه معين بواسطة قضيبان لمعايرة المستويين الرأسي Vertical والأفقي Horizontal.

والشكل التالي يوضح تركيب هذا الهوائي:



وقيمة للكسب Gain الذي يحققه هذا الهوائي تعطى بالعلاقة التالية:

$$G = \eta(\pi Df/c)^2$$

حيث أن:

η : فعالية الهوائي المؤثرة وتساوي لهوائي القطع المكافئ العاكس 0.54.

D : قطر الهوائي بوحدة meter.

f : تردد الموجة المرسلة بالهرتز Hz.

c : سرعة الضوء في الفراغ وتساوي $3*10^8$ m/s^2

وبتعويض هذه القيم في العلاقة أعلاه يصبح شكل العلاقة لكسب هوائي القطع المكافئ العاكس كما يلي:

$$G = \eta(\pi Df/c)^2$$
$$= 0.54\ (\pi Df/3*10^8)^2$$
$$= (\pi Df/450)^2$$

حيث وحدة التردد في العلاقة الأخيرة هي MHz ووحدة قطر الهوائي بالمتر.

ويمكن التعبير عن هذا الكسب بالديسيبل فتصبح المعادلة لوغاريتمية على النحو التالي:

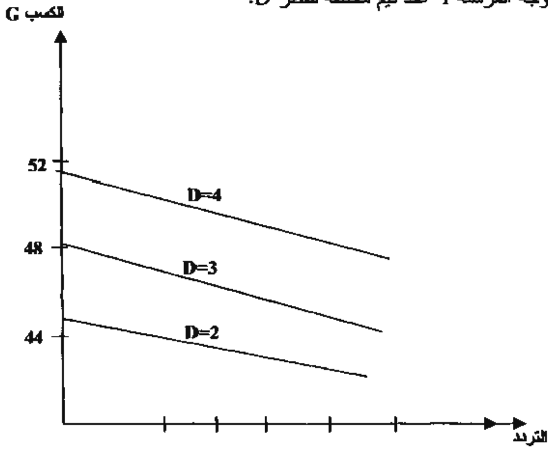
$$G = 10\ Log[(\pi\ Df/450)^2]$$
$$= 20\ Log(\pi\ Df/450)]$$
$$= 20\ Log(D) + 20\ Log(f) - 43.1 \quad dB$$

حيث وحدة التردد في العلاقة الأخيرة هي MHz ووحدة قطر الهوائي بالمتر.

نلاحظ ان العلاقة طردية لوغاريتمية بين:

1. كسب الهوائي G والتردد المستخدم f.
2. كسب الهوائي G وقطر الهوائي المستخدم D

والشكل التالي يوضح العلاقة بين كسب هوائي القطع المكافئ G وتردد الموجة المرسلة f عند قيم مختلفة للقطر D:



فعند رفع التردد إلى الضعف 2f يزداد الكسب بمقدار $= 20\ Log(2)$ 6dB، أي لو كان مقدار الكسب للهوائي عند تردد 200MHz يساوي 3dB ، فعند تردد مساوي لضعف هذا التردد (400MHz) يكون كسب الهوائي أكبر بـ 6 dB أي يساوي 3+6=9 dB.

ان هذا النوع من الهوائيات يعطي فعالية كسب بقيم مقبولة Reasonable Gain Efficiency تتراوح بين 50% و60%. ولكن السيئة Disadvantage في استخدامه هي عند حدوث أعلى زاوية دوران للهوائي High Elevation Angle. ففي هذه الحالة فان إشعاع المغذي Radiation Feed سوف تسلط على حافة العاكس (ضياع الطاقة)، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى ارتفاع درجة حرارة الهوائي وبالتالي زيادة التشويش الحراري Thermal Noise.

يعد هوائي القطع المكافئ العاكس من أكثر الهوائيات شيوعا. وعادة ما نجد واقي من الترددات الراديوية Radio Frequency (RF) حول الهوائي والذي يعمل على تحسين أداءه ، كما تغطى قبة الهوائي لمنع تحال الثلج في مقدمة سطح العاكس Reflector.

مثال1: احسب كسب هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 20GHz ونصف قطر الهوائي 2.5m.

الحل:

أولا نلاحظ أن المعلومة المعطاة عن حجم الهوائي ممثلة بنصف القطر وليس بالقطر كاملا منا ان التردد معطى بوحدة GHz وليس MHz، لذلك يجب مراعاة ذلك عند تطبيق معادلة الكسب:

$$G = = 20\ Log(D) + 20\ Log(f) - 43.1 \quad dB$$
$$= 20\ Log(2*2.5) + 20\ Log(20*10^3) - 43.1$$

$$= 14 + 86 - 43.1$$
$$= 56.9 \text{ dB}$$

مثال2: ما نصف قطر هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 20GHz والكسب المطلوب تحقيقه يساوي 70dB ؟

الحل:

بالتطبيق المباشر لقانون الكسب نحصل على:

$$G = 20 \text{ Log}(D) + 20 \text{ Log}(f) - 43.1 \quad \text{dB}$$
$$70 = 20 \text{ Log}(D) + 20 \text{ Log}(20*10^3) - 43.1$$
$$= 20 \text{ Log}(D) + 86 - 43.1$$
$$20 \text{ Log}(D) = 70-86+43.1 =27.1$$
$$\text{Log}(D) =27.1/20 =1.355$$
$$D = \text{Log}^{-1}(1.355)$$
$$= 22.65 \text{ m}$$

القيمة الناتجة تمثل قطر الهوائي وبالتالي فان نصف قطر r هذا الهوائي يساوي:

$$R = D/2 = 22.65/2 =11.325\text{m}$$

مثال3: ما هو كسب هوائي قطره 5m يعمل مع K-Band ؟

الحل:

من الجدول السابق نجد ان ترددات K-Band تتراوح بين 18-27GHz، وبالتالي يمكن حساب كسب الهوائي عند حدي التردد لإيجاد مدى الكسب:

الحالة الأولى: عند التردد 18GHz

$$G = 20 \text{ Log}(D) + 20 \text{ Log}(f) - 43.1$$
$$= 20 \text{ Log}(5) + 20 \text{ Log}(18*10^3) - 43.1$$
$$= 14 + 85 -43.1$$

$$= 142.1 \text{ dB}$$

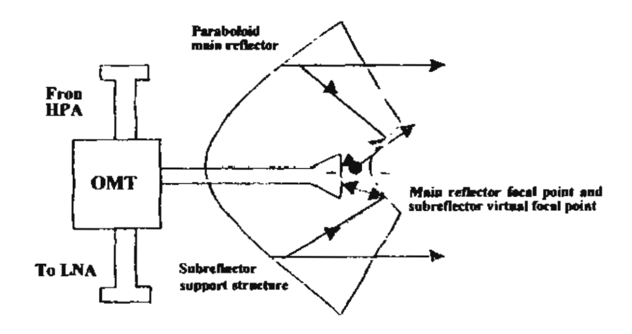
الحالة الثانية: عند التردد 27GHz

$$G = 20 \, Log(D) + 20 \, Log(f) - 43.1$$
$$= 20 \, Log(5) + 20 \, Log(27*10^3) - 43.1$$
$$= 14 + 88.6 - 43.1$$
$$= 59.5 \text{ dB}$$

وبالتالي فان كسب هذا الهوائي سيتراوح بين dB(59.5 - 142.1).

2-8-2 هوائي كاسيجرين Cassegrain

سمي هذا الهوائي نسبة إلى مخترعه العالم Cassegrain .ان هذا الهوائي عبارة عن نظام هوائي عاكس مزدوج يتكون من عاكس رئيسي والذي في بؤرته يوجد عاكس ثانوي كما هو موضح في الشكل التالي:



في الطرف الخاص بالمرسل فان تشع قدرة الإشارة من مكبر القدرة العالية HPA بواسطة المغذي Feeder عند النقطة البؤرية الحقيقية وتسقط

حزمة الأشعة على العاكس الثانوي المواجه للمغذي فتنعكس عنه لتسقط على العاكس الأساسي لتشكل الأشعة المنعكسة عن الأخير حزمة الأمواج المرسلة من الهوائي.

وفي طرف الاستقبال يتم انعكاس الأشعة الساقطة على سطح العاكس الرئيسي باتجاه البؤرة المركزية حيث تنعكس مرة أخرى على سطح العاكس الثانوي نحو المغذي لتنتقل إلى المرحلة التالية في المستقبل الممثلة بمكبر الإشارة ذات الضجيج المنخفض LNA.

ان هوائي كاسيجرين أكثر تكلفة من هوائي القطع المكافئ العاكس بسبب العاكس الإضافي ولتكامل الوحدات الرئيسية الثلاث للهوائي: العاكس الرئيسي، والعاكس الثانوي والمغذي.

من مميزات هوائي كاسيجرين Advantages:

1. للهوائي درجة حرارة منخفضة نتيجة الضجيج Low Noise Temperature ، أي أن الخسارة الناتجة عن الحرارة ذات قيمة قليلة.
2. دقة في التوجيه ومرونة في تصميم المغذي Pointing accuracy and Flexibility in Feed Design.
3. تحقيق توازن ميكانيكي أعلى عند وضع المغذي بجانب العاكس الأساسي أفضل من هوائي القطع المكافئ العاكس.

وتقريبا كل المحطات الأرضية Earth Stations تستخدم هذا النوع من الهوائيات، ويزداد استخدامه في قنوات الربط للحزم العريضة.

2-8-3 الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector

يتكون الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector من مغذي قمعي Funnel Feed وقطع مكافئ عاكس Parabolic Reflector وقبة الإشعاع

Radiation Dome. وسمي بالبوقي لكونه يأخذ شكل البوق بسبب المغذي القمعي.

ويستعمل الهوائي البوقي Horn Reflector في المسارات الميكروية لقنوات الربط التي تتعامل مع حزم ترددات مختلفة.

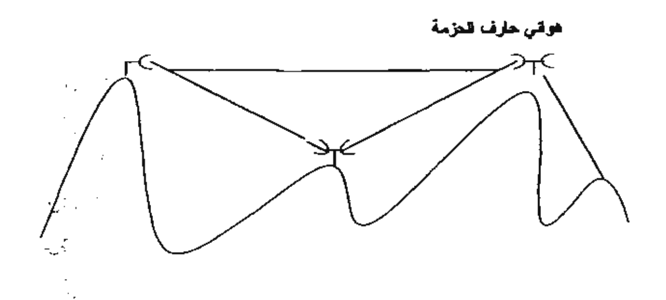
4-8-2 هوائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas

تتكون هذه الهوائيات من مجموعة من المرايا المسطحة التي تعمل على تحريف مسار حزمة الأمواج المنتشرة من المرسلة إلى المستقبلة والموجودتين على قمتين مختلفتين (كطرفي جبلين أو تلتين) وذلك لتأمين وصول الموجة المرسلة التي يصعب إيصالها بخط النظر المباشر. ومن هنا جاءت التسمية "حارف الحزمة Beam Reflector".

تعمل هوائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas على إيصال حزمة الأمواج من المرسل إلى المستقبل من خلال معايرة أكثر من مرآة مسطحة لتقوم بعكس حزمة الأشعة الساقطة بكل مرآة فتوفر بذلك مسار متعرج لمرور الموجات عند النقاط الصعبة (كقمم الجبال). وينطبق عند كل مرآة قانون الانعكاس (زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس). فتعاير المرايا بحيث تحقق زوايا الانعكاس في النهاية المسار المطلوب.

وبالتالي فان هذا النوع من الهوائيات يختلف عن الأنواع السابقة التي تمثل هوائيات أولية تغذي المرسلة الهوائي بشكل مباشر أو يتم وصله في مدخل المستقبل مباشرة.

والشكل التالي يوضح عمل هوائيات حارف الحزمة:


هوائي حارف الحزمة

أسئلة الوحدة الثانية

س1) عدد خواص انتشار الأمواج الميكروية Microwaves.

س2) ما نقاط التشابه بين الأمواج الميكروية Microwaves والأمواج الضوئية؟

س3) متى يكون مسار الشعاع المنعكس تحت مستوى المسار الأصلي؟

س4) متى يكون مسار الشعاع المنعكس فوق مستوى المسار الأصلي؟

س5) إذا أسقط شعاع ضوئي على سطح أملس بزاوية سقوط تساوي 60^o، فما قيمة الزاوية التي ينعكس بها هذا الشعاع مرتدا مرة أخرى إلى نفس الوسط (زاوية الانعكاس)؟

س6) ما تأثير الحواجز الصلبة كالبنايات والجبال والتلال في انتشار الموجات؟

س7) ما الطرق التي تنتشر بها الأمواج الميكروية في الفراغ؟

س8) ما المقصود بشدة مجال الموجة الميكروية Intensity؟

س9) إذا كانت قدرة موجة ميكروية مرسلة P_t=400w ، فما قيمة شدة المجال للموجة عند نقطة تبعد عنها مسافة 25 Km ؟

س10) ما النسبة بين شدة المجال لموجة عند نقطة تبعد عن المصدر مسافة R_1 وشدة المجال عند نقطة أخرى تبعد عن المصدر مسافة $R=2.5R_1$؟

س11) إذا كانت قدرة الموجة المرسلة يساوي 250 watt ، فعلى أي بعد يجب ان يكون هوائي المستقبلة لتحقيق شدة مجال تساوي $0.1\mu w/m^2$ ؟

س12) ما القدرة التي يجب أن ترسل بها الموجة لكي نحصل على شدة مجال للموجة يساوي $4\mu w/m^2$ عند مستقبلة تقع على بعد 50Km من المرسلة؟

س13) ما العوامل التي تؤثر في قيمة القدرة المستقبلة؟

س14) جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي 1000 watt والتردد المستخدم في الإرسال يساوي 50MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد 150Km عن المرسلة. ثم أو جد النسبة بين القدرة المستقبلة والقدرة المرسلة.

س15) : جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي400 watt والتردد المستخدم في الإرسال يتراوح بين 20MHz و40MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد 50Km عن المرسلة.

س16) أعد الإجابة على السؤال السابق إذا علمت أن لهوائي المرسلة معامل كسب يساوي 4 وأن لهوائي المستقبلة معامل كسب يساوي 6.

س17) ما المقصود بفقد الفراغ الخارجي F.S.L؟

س18) أثبت أن معادلة فقد الفراغ الخارجي F.S.L عند استخدام وحدة الميل للمسافة ووحدة MHz للتردد تكون على النحو التالي:

$$F.S.L = 36.6 + 20\ Log(f) + 20 Log(D) \qquad dB$$

س19) جد صيغة معادلة فقد الفراغ الخارجي F.S.L عند استخدام وحدة الميل (mile) للمسافة ووحدة MHz للتردد .

س20) جد صيغة معادلة فقد الفراغ الخارجي F.S.L عند استخدام وحدة الميل (mile) للمسافة ووحدة GHz للتردد .

س21) ما قيمة فقد الفراغ الخارجي لموجة ترددها 30MHz ، إذا كانت المسافة بين المرسل والمستقبل تساوي 55KHz ؟

س22) جد المسافة (بالميل) التي يجب أن نضع عندها هوائي المستقبلة إذا أردنا الحصول على فقد فراغ خارجي لا يتعدى 140 dB . إذا كان التردد المستخدم في الإرسال يساوي 30GHz ؟

س23) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا انخفض التردد للموجة المرسلة إلى الثلث؟

س24) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا انخفض التردد للموجة المرسلة إلى الربع؟

س25) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا ارتفع كل من المسافة والتردد للموجة المرسلة إلى الضعفين؟

س26) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا ارتفع المسافة إلى الضعف وانخفض التردد للموجة المرسلة إلى النصف؟

س27) ما تأثير انحناء الأرض في انتشار الأمواج الميكروية ؟

س28) ما أطول مسافة تفصل بين رجلين طول الأول 160cm وطول الثاني 150cm بحيث يستطيع كل منهما رؤية الآخر بخط نظر مباشر؟

س29) إذا كان برج هوائي المرسلة Transmitter على ارتفاع 100m والمسافة بين المرسلة والمستقبلة 100Km ، فعلى أي ارتفاع يجب أن يوضع هوائي المستقبلة Receiver لكي تصل الأمواج المرسلة بخط مباشر L.O.S؟

س30) ما تأثير وجود المرتفعات الطبيعية أو المباني العالية على حساب المسافة الفاصلة بين هوائيين لتحقيق انتشار الأمواج Wave propagation تبعا لخط النظر المباشر L.O.S؟

س31) ما العوامل المؤثرة على ارتفاع الهوائيات Antennas عن سطح الأرض Earth Surface؟ اشرح باختصار عن كل عامل.

س32) وضح بالرسم شكل انحناء الموجة الميكروية المرسلة في كل من الحالات التالية:

1. K=2/3.
2. K=1.
3. K=4/3.

س33) ما تأثير العامل K في كل حالة في السؤال السابق على ارتفاع هوائي المستقبلة؟

س34) ما مستوى ارتفاع برج هوائي المرسل إلى مستوى هوائي المستقبل (أعلى منه أو أقل ارتفاعا أو مساوي له في الارتفاع) في ككل من الحالات التالية:

1. K= -1. 5.
2. K=1.5.
3. K=1.

س35) إذا كان تردد الموجة المرسلة يساوي 3 GHz، فما الشرط الذي يجب تحقيقه في ارتفاع برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة Direct والمنعكسة Reflected عن سطح الأرض عند الاستقبال عوضا عن طرحهما؟

س36) إذا كان تردد الموجة المرسلة يساوي 30 GHz، فما الشرط الذي يجب تحقيقه في ارتفاع برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة

Direct والمنعكسة Reflected عن سطح الأرض عند الاستقبال عوضا عن طرحهما؟

س37) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية:

$$E(t) = 8 \sin(6.84*10^{10}t)$$

فأجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل؟
2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟
4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 160^o فقط فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س38) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية:

$$E(t) = 8 \cos(3.14*10^{10}t)$$

فأجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل؟
2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟

4. إذا تمت معايرة لرتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته °140 فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س39) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية:

$$E(t) = 10 \cos(3.14*10^{10}t) + 12 \sin(6.28*10^{10}t)$$

فأجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل؟
2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟
4. إذا تمت معايرة لرتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته °140 فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س40) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية:

$$E(t) = 10 \sin^2(6.28*10^{10}t)$$

فأجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل؟
2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟

4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 140^o فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س42) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية:

$$E(t) = 16\cos^2(314*10^{10}t)$$

فأجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجتين عند هوائي المستقبل؟
2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجتين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟
4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 140^o فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س42) ما المقصود بموجه الموجة Wave Guide ؟ ما أنواعه؟ ومما يتكون؟

س43) ما الخسائر Losses التي تحدث للموجة في موجه الموجة وما سببها؟

س44) كيف يتم التقليل من الخسائر التي تحدث للموجة في الموجه؟

س45) ما الصفات الواجب توفرها في هوائي المحطات الأرضية Antennas of Earth Stations ؟

س46) قارن بين ترددات القنوات الفضائية المرسلة على C-Band وبين مدى الترددات لهذه الحزمة الموجودة في جدول الطيف الترددي لأنظمة

الأقمار الصناعية Satellite Spectrum. (جزء من الحل توصيفة عملية).

س47) ما أجزاء هوائي القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector ، وما مبدأ عمله في جهة الاستقبال وجهة الإرسال؟

س48) احسب كسب هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 12GHz ونصف قطر الهوائي 2.5m.

س49) احسب كسب هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 12GHz ونصف قطر الهوائي 5m.

س50) ما نصف قطر هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 6 GHz والكسب المطلوب تحقيقه يساوي 10dB ؟

س51) ما نصف قطر هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 12GHz والكسب المطلوب تحقيقه يساوي 10dB ؟

س52) ما هو كسب هوائي قطره 20 m يعمل مع K-Band ؟

س53) ما هو كسب هوائي قطره 20 m يعمل مع C-Band ؟

س54) ما هو كسب هوائي قطره 20 m يعمل مع KU-Band؟

س55) ما هو قطر الهوائي الذي يجب استخدامه لنحقق كسب يساوي 30dB عند العمل مع K-Band ؟

س56) ما هو قطر الهوائي الذي يجب استخدامه لنحقق كسب يساوي 60dB عند العمل مع K-Band؟

س57) ما هو قطر الهوائي الذي يجب استخدامه لنحقق كسب يساوي 30dB عند العمل مع C-Band ؟

س58) ما أجزاء هوائي كاسيجرين Cassegrain، وما مبدأ عمله في جهة الاستقبال وجهة الإرسال؟

س59) ما مميزات هوائي كاسيجرين Cassegrain ؟

س60) ما أجزاء الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector؟

س61) ما الفرق الرئيسي بين هوائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas وأنواع الهوائيات الأخرى؟

س62) هل نجد هوائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas في الأراضي السهلة (المستوية)؟ لماذا؟

الوحدة الثالثة



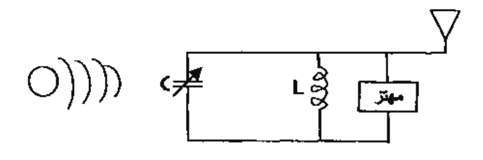
الوحدة الثالثة

تقنيات أنظمة الميكروويف ذات التعديل الترددي FM

1-3 التعديل الترددي Frequency Modulation

التعديل الترددي (FM): هو التغير في تردد الموجة الحاملة (Carrier Signal) ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية لاتساع الموجة المحمولة (Information Signal) مع بقاء اتساع الموجة الحاملة ثابت.

وللحصول على موجة معدلة تعديل ترددي (FM)، فإننا بحاجة إلى نظام يقوم بتحويل التغير في اتساع الإشارة الداخلة إلى تغير في تردد الإشارة الخارجة (معدلة). ولهذا الغرض نستطيع استعمال الدائرة الموضحة في الشكل التالي:



حيث يتم التحكم بتردد الموجة المولدة من المهتز بواسطة دائرة التحكم المرافقة. دائرة التحكم تتكون، كما هو واضح في الشكل، من ملف ومكثف متغير السعة. وسعة هذا الملف تتغير بتغير اتساع الإشارة الصوتية المتولدة من الميكرفون (شدة الصوت الذي يستقبله الميكرفون). ولدينا هنا ثلاث حالات:

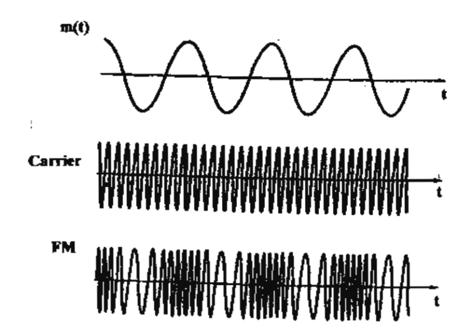
1. في حالة عدم وجود صوت واصل للميكرفون: فان لوحتي المكثف تبقى ثابتة ولا تتذبذب ترددات المهتز وبالتالي يكون تردد الموجة المتولدة مساوي لتردد الموجة الحاملة f_c.

2. في حالة كانت شدة الصوت الواصل للميكرفون أعلى من قيمة مرجعية معينة: فان لوحتي المكثف تهتز تبعا لشدة الصوت مسببة تغير في قيمة المكثف وبالتالي زيادة في تردد الموجة المولدة من المهتز لقيمة أعلى من تردد الموجة الحاملة، وتزداد هذه القيمة بازدياد شدة الصوت، ويساوي التردد الناتج: $f_c+\Delta f$. حيث Δ f تمثل الإزاحة في تردد الموجة المعدلة الناتجة.

3. في حالة كانت شدة الصوت الواصل للميكرفون أقل من قيمة مرجعية معينة: فان لوحتي المكثف تهتز تبعا لشدة الصوت مسببة تغير معاكس للحالة السابقة في قيمة المكثف وبالتالي نقصان في تردد الموجة المولدة من المهتز لقيمة أقل من تردد الموجة الحاملة، وتقل هذه القيمة بنقصان شدة الصوت، ويساوي التردد الناتج: $f_c-\Delta f$. حيث Δ f تمثل الإزاحة في تردد الموجة المعدلة الناتجة.

لذلك فان معدل التغير في السعة يساوي الموجة الصوتية الداخلة، ومقدار التغير في السعة يتناسب طرديا مع اتساع هذه الموجة.

وفي ما يلي توضيح بالرسم عن كيفية الحصول على الموجة المعدلة تعديل ترددي FM من الموجة المحمولة $V_m(t)$:



فعندما $V = V_m$ فان تردد الموجة المعدلة يساوي تردد الموجة الحاملة f_c . وعندما $V > V_m$ فان تردد الموجة المعدلة أعلى من تردد الموجة الحاملة، وعندما $V < V_m$ فان تردد الموجة المعدلة أقل من تردد الموجة الحاملة.

ولإيجاد علاقة رياضية للموجة المعدلة تعديل ترددي FM نبدأ برسمة الموجة المعدلة في الأعلى، فهي إشارة جيبية ذات اتساع ثابت مساوي لاتساع الموجة الحاملة V_c ولكننا نجهل الصيغة النهائية لزاوية هذه الإشارة ولتكن Ø:

$$V(t) = V_c \, Sin(Ø)$$

المعلومة المتوفرة عن الزاوية ليست مباشرة ولكننا نعلم أن السرعة الزاوية ω "Angle Velocity" هي المشتقة الأولى للزاوية نسبة للزمن، أي أن:

$$ω = ∂Ø/∂t$$
$$Ø = \int ω \, ∂t$$

ونعلم أن السرعة الزاوية تساوي: $ω=2πf$

والتردد يتغير زيادة ونقصان حول تردد الموجة الحامل ولحد معين يتناسب مع اتساع الموجة المحمولة ويمكن التعبير عن شكل التردد اللحظي بالعلاقة التالية:

$$f(t) = f_c + K_f\, Vm\, Cos(\omega_m)t$$
$$\omega(t) = \omega_c + 2\pi K_f\, Vm\, Cos(\omega_m)t$$

حيث:

K_f :ثابت التعديل الترددي ووحدته (Hz/Volt).

$Vm\, Cos(\omega_m)t$: الإشارة المحمولة.

وباشتقاق العلاقة الأخيرة نحصل على الزاوية:

$$Ø = \int \omega(t)\, \partial t$$
$$= \int \omega_c + 2\pi\, K_f\, Vm\, Cos(\omega_m t)\, \partial t$$
$$= \omega_c t + 2\pi\, K_f\, Vm\, Sin(\omega_m t)\, /\omega_m$$
$$= \omega_c t + K_f\, Vm\, Sin(\omega_m t)\, /f_m$$

وبما أن إزاحة التردد تساوي: $\Delta f = K_f\, Vm$

$$Ø = \omega_c t + \Delta f/f_m\, Sin(\omega_m t)$$

وبتعويض العلاقة الأخيرة في معادلة الموجة المعدلة تعديل ترددي نحصل على العلاقة التالية:

$$V(t) = V_c\, Sin(\omega_c t + \Delta f/f_m\, Sin(\omega_m t))$$

حيث معامل التعديل الترددي m_f يعطى بالعلاقة التالية:

$$m_f = \Delta f/f_m$$

أي أن معامل التعديل الترددي m_f هونسبة انحراف التردد Δf إلى تردد الموجة المحمولة f_m .

ويمكن إعادة كتابة علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي على النحو التالي:

$$V(t) = V_c \, Sin(\omega_c t + m_f \, Sin(\omega_m t))$$

مثال1: إذا كان تردد الموجة المحمولة يساوي 15KHz وانحراف التردد للموجة المعدلة تعديل ترددي FM يساوي 12KHz ، احسب معامل التعديل.

الحل:

$$m_f = \Delta f / f_m = 12/15 = 0.75$$

مثال2: احسب معامل التعديل للمثال السابق إذا كان انحراف التردد Δf يساوي 20KHz.

الحل:

$$m_f = \Delta f / f_m = 20/15 = 1.25$$

مثال3: موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 12 \, Sin(10^8 \, t + 2 \, Sin(314t))$$

ما قيمة انحراف التردد لهذه الموجة؟

الحل:

يجب أولا حساب قيمة تردد الموجة المحمولة f_m:

$$f_m = 314/2*3.14 = 50 \text{ Hz}$$

من المعادلة الأصلية يمكن معرفة قيمة معامل التعديل وبالتالي يمكن حساب انحراف التردد:

$$\Delta f = m_f * f_m = 2* 50 = 100 \text{ Hz}$$

ان الإزاحة الترددية المحسوبة في الأمثلة السابقة هي الإزاحة القصوى للتردد، ويمكن قياس الإزاحة الترددية بوحدة أخرى وهي القيمة الفعالة (أو جذر

متوسط المربع root mean square value)، حيث ان العلاقة بين القيمتين تعطى بالمعادلة التالية:

$$\Delta f_{rms} = \Delta f * 0.707$$

وهي علاقة صحيحة للعلاقات الجيبية.

مثال4: موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 4\ Sin(10^{12}\ t + 3\ Sin(314*10^{3}\ t))$$

ما قيمة انحراف التردد Δf_{rms} لهذه الموجة؟

الحل:

يجب أولا حساب قيمة تردد الموجة المحمولة f_m:

$$f_m = 314/2*3.14*10^{3} = 50\ KHz$$

من المعادلة الأصلية يمكن معرفة قيمة معامل التعديل وبالتالي يمكن حساب انحراف التردد:

$$\Delta f = m_f * f_m = 3 * 50 = 150K\ Hz$$

بتطبيق العلاقة المباشرة بين الانحراف الأقصى والقيمة الفعالة له (RMS) يمكن حساب:

$$\Delta f_{rms} = \Delta f * 0.707$$
$$= 150 * 0.707$$
$$= 106\ KHz$$

وعادة ما يستخدم مصطلح "الإزاحة العظمى" للتعبير عن أقصى إزاحة للتردد، كما يمكن ان تعطى علاقة أخرى لحساب هذه الإزاحة العظمى وهي:

$$\Delta f = f_{max} - f_c$$
$$= f_c - f_{min}$$
$$= (f_{max} - f_{min})/2$$

حيث:

f_c : يمثل التردد الحامل للموجة المرسلة.

f_{max} : يمثل أقصى تردد للموجة المعدلة.

f_{min} : يمثل أدنى تردد للموجة المعدلة.

اقترانات بيسيل Bessel Functions

معادلة الإشارة المعدلة هي علاقة جيب قيمة جيبية، وهي علاقة معقدة يصعب التعامل معها وتحليلها ويصعب دراسة الطيف الترددي لها. ووجد العالم بيسيل حل لهذه العلاقة وهذا الحل هو علاقات بيسيل أو اقترانات بيسيل Bessel Functions. وهي علاقات متغيرة مع معامل التعديل الترددي m_f وهي ذات درجات ، أي يوجد علاقة بيسيل من الدرجة الأولى يرمز لها $J_1(m_f)$ وعلاقة بيسيل من الدرجة الثانية ويرمز لها $J_2(m_f)$ وعلاقة بيسيل من الدرجة الثالثة ويرمز لها $J_3(m_f)$.......الخ.

فنعبر عن علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي FM بعلاقات بيسيل على النحو التالي:

$$V(t) = V_c \{ J_0(m_f) \sin(\omega_c t) + J_1(m_f) [\sin(\omega_c + \omega_m)t + \sin(\omega_c - \omega_m)t]$$
$$+ J_2(m_f) [\sin(\omega_c + 2\omega_m)t + \sin(\omega_c - 2\omega_m)t]$$
$$+ J_3(m_f) [\sin(\omega_c + 3\omega_m)t + \sin(\omega_c - 3\omega_m)t]$$
$$+ \ldots + \ldots + \ldots \}$$

أو

$$V(t) = V_c \{ J_0(m_f) \sin(2\pi f_c t) + J_1(m_f) [\sin(2\pi(f_c + f_m)t) + \sin(2\pi (f_c - f_m)t)]$$
$$+ J_2(m_f) [\sin(2\pi (f_c + 2f_m)t) + \sin(2\pi (f_c - 2f_m)t)]$$

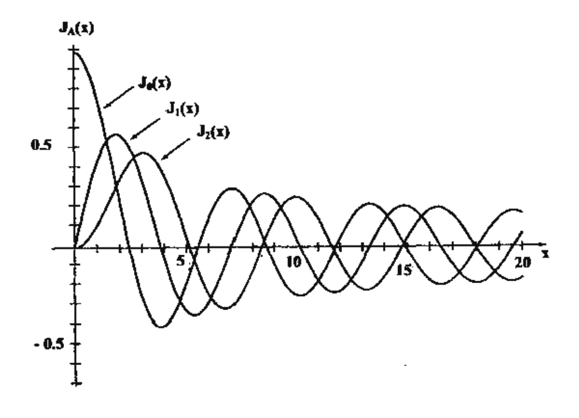
$$+ J_3(m_f)\,[\mathrm{Sin}(2\pi\,(f_c + 3f_m)t) + \mathrm{Sin}(2\pi\,(f_c - 3f_m)t)]$$

$$+ \ldots + \ldots + \ldots \}$$

أو يمكن إعادة كتابة علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي على النحو التالي:

$$V(t) = V_c \sum J_n(m_f)\,\mathrm{Sin}(2\pi(f_c \pm nf_m)t)$$

ولأخذ فكرة عن الشكل العام للطيف الترددي لهذه الموجة المعدلة تعديل ترددي FM، فلا بد في البداية من توضيح بعض خصائص علاقات بيسيل المرتبطة بدراستنا. وعلاقات بيسيل تأخذ الشكل التالي:



والجدول التالي يبين قيمة اقترانات بيسيل لقيم مختلفة من معامل التعديل الترددي m_f :

n\m$_f$	0.1	0.2	0.5	1	2	5	8	10
0	0.997	0.990	0.938	0.765	0.224	-0.178	0.172	-0.246
1	0.050	0.100	0.242	0.440	0.577	-0.328	0.235	0.043
2	0.001	0.005	0.031	0.115	0.353	0.047	-0.113	0.255
3			0.003	0.020	0.129	0.365	-0.291	0.058
4				0.002	0.034	0.391	-0.105	-0.220
5					0.007	0.261	0.286	-0.234
6					0.001	0.131	0.338	-0.014
7						0.053	0.321	0.217
8						0.018	0.224	0.318
9						0.006	0.126	0.292
10						0.001	0.061	0.208
11							0.026	0.123
12							0.010	0.063
13							0.003	0.029
14							0.001	0.012
15								0.005
16								0.002

نلاحظ من الشكل السابق أن:

1. في علاقة بيسيل ذات الدرجة المعينة تقل قيمة الاقتران بازدياد معامل التعديل الترددي m_f، أي أن العلاقة عكسية بين اقتران بيسيل ومعامل التعديل الترددي بتثبيت درجة الاقتران.
2. بتثبيت معامل التعديل m_f ومقارنة الإقترانات ذات الدرجات المختلفة نلاحظ أن قيمة الاقتران ذو الدرجة الأعلى تكون أقل من قيمة الاقتران ذو الدرجة الأقل، أي:

$$J_{n+1}(m_f) < J_n(m_f)$$

3. عندما يساوي $m_f = 0$ فان القيمة الوحيدة لاقتران بيسيل هي $J_0(0) = 1$ وهي أعلى قيمة لاقتران بيسيل، أما باقي اقترانات بيسيل عند نفس قيمة معامل التعديل تساوي $J_{n\neq0}(0) = 0$

4. عند قيمة معامل تعديل m_f ثابتة فان:

$$J_0^2 + 2J_1^2 + 2J_2^2 + 2J_3^2 + .. + ... = 1$$

5. إن اقترانات بيسيل تأخذ قيم موجبة أو سالبة. ومعنى القيم السالبة حدوث فرق في الطور بمقدار 180 درجة.

وبالنسبة لعلاقة الموجة المعدلة فان:

J_0: تمثل قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة.

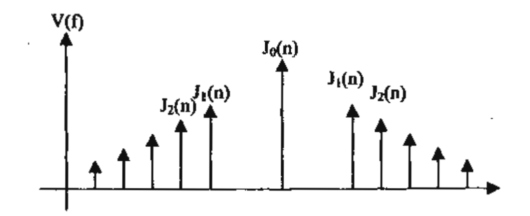
J_1: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الأول.

J_2: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الثاني.

J_3: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الثالث وهكذا.

وبالتالي فالاتساع النسبي للحزم الجانبية للموجة المعدلة يقل بازدياد درجة اقتران بيسيل n أو بمعنى آخر بازدياد درجة الحزمة الجانبية .ومن معادلة الموجة المعدلة نلاحظ أن الطيف الترددي يتكون من عدد لا نهائي من الحزم الجانبية ذات الترددات $f_c \pm nf_m$ مثال $f_c + f_m$ ، $f_c + 2f_m$ ، $f_c + 3f_m$ ....الخ. وأن الفاصل بين كل حزمتين يساوي قيمة تردد الموجة المحمولة f_m. وأن تردد الموجة الحاملة يحمل قيمة تساوي $V_c J_0(m_f)$، وشكل الطيف الترددي متناظر حول تردد الموجة الحاملة f_c .

وبالتالي نتوقع شكل الطيف الترددي للموجة المعدلة تعديل ترددي FM على النحو التالي:



وبما أن الاتساع النسبي للحزم الجانبية يقل بازدياد الدرجة فيمكننا بالتقريب إهمال الحزم الجانبية ذات الدرجة الكبيرة والاتساع النسبي القليل.

<u>عرض النطاق Band Width (BW)</u>

عرض نطاق الموجة المعدلة يعتمد على عدد الحزم الجانبية الفعالة ذات الاتساعات النسبية الكبيرة. وعدد هذه الحزم الجانبية يتغير بتغير معامل التعديل الترددي m_f . عرض النطاق يساوي:

$$BW = \text{numbers of side bands} * f_m$$
$$= 2 * n * f_m$$

حيث n أعلى درجة لاقترانات بيسيل.

ومدى الترددات للموجة المعدلة FM هو بين ($f_c-\Delta f$ ، $\Delta f+f_c$)

نلاحظ أن عرض النطاق للموجة المعدلة تعديل ترددي FM لا يعتمد على تردد الموجة الحاملة f_c، وإنما يعتمد على تردد الموجة المحمولة وعلى معامل التعديل بشكل غير مباشر فبزيادة معامل التعديل يزداد عدد الحزم الجانبية وبالتالي يزداد عرض النطاق.

مثال1: إذا كان تردد الموجة المحمولة $f_m = 20KHz$ ، وانحراف التردد للموجة المعدلة 40KHz، فما عرض النطاق (BW) المطلوب لإرسال الموجة المعدلة FM ؟

الحل:

$$m_f = \Delta f/f_m = 40/20 = 2$$

ومن الجدول نجد أن عدد الحزم الجانبية لمعامل التردد هذا هو 4 :

number of side bands = 2*4 = 8

BW = number of side bands * f_m =8*20 = 160KHz

مثال2: محطة FM تبث موجات صوتية ذات مدى ترددي (100Hz - 20KHz) فما مدى معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة، مع العلم أن أقصى انحراف تردد لمحطة FM هو75KHz .

الحل:

$$m_{f1} = \Delta f/f_{m1} = 75000/100 = 750$$
$$m_{f2} = \Delta f/f_{m21} = 75/20 = 3.75$$

وبالتالي فان مدى التعديل الترددي هو: (3.75 - 750)

وفي ما يلي دراسة لأربعة حالات للتعديل الترددي FM توضح تأثير نسبة التعديل على الحزم الجانبية للموجة المعدلة تعديل ترددي FM (أربعة قيم مختلفة لمعامل التعديل وهي: 4 , 2.4 , 1 , 0.2) وعدد الحزم الجانبية وعرض النطاق والطيف الترددي لكل حالة، وعلى سبيل المثال يفرض أن تردد الموجة المحمولة 1 MHz وتردد الموجة الحاملة يساوي 70 MHz، فإذا كان اتساع الموجة المحمولة 10 mV بسبب إزاحة التردد للموجة الحاملة 400KHz، وبذلك فان نسبة الإزاحة Deviation (Δf) إلى الاتساع Amplitude تساوي:

$$\text{Deviation/amplitude} = \Delta f/A = 400\ \text{KHz}/\ 10\text{mV}$$
$$= 40\ \text{KHz/mV}$$

وعندما يكون اتساع الموجة المحمولة = 0 فان الإزاحة تساوي:

$$\Delta f = \Delta f/A * A$$

$$= 40\ KHz/mV * 0 = 0$$

وبالتالي فان تردد الموجة المعدلة يساوي تردد الموجة الحاملة فقط (والذي يساوي 70 MHz). ولا يتكون الطيف الترددي إلا من النبضة الراجعة للتردد الحامل دون أي اثر لحزم جانبية.

الحالة الأولى:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 5 mV

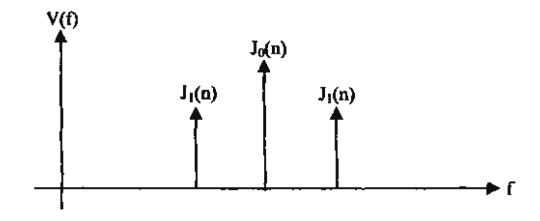
فان الإزاحة تساوي:

$$\Delta f = \Delta f/A * A$$
$$= 40\ KHz/mV * 5mV$$
$$= 200\ KHz$$

وبالتالي فان معامل التعديل الترددي يساوي:

$$m_f = \Delta f / f_m$$
$$= 200\ KHz / 1000\ KHz$$
$$= 0.2$$

وهي قيمة قليلة، ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية يساوي 1، والطيف الترددي يكون على النحو التالي:



ولن عرض النطاق للموجة المعدلة يساوي:

$$BW = \text{numbers of side bands} * f_m$$
$$= 2 * n * f_m$$
$$= 2 * 1 * 1MHz$$
$$= 2\ MHz$$

الحالة الثانية:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 25 mV

فان الإزاحة تساوي:

$$\Delta f = \Delta f/A * A$$
$$= 40\ KHz/mV * 25mV$$
$$= 1000\ KHz$$

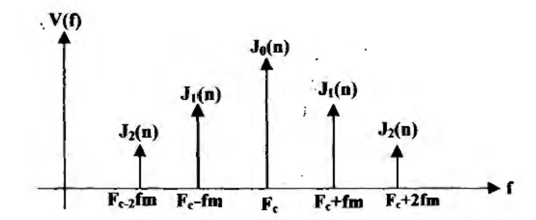
وبالتالي فان معامل التعديل الترددي يساوي:

$$m_f = \Delta f / f_m$$
$$= 1000\ KHz / 1000\ KHz$$
$$= 1$$

ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية يساوي 2، وان عرض النطاق للموجة المعدلة يساوي:

$$BW = \text{numbers of side bands} * f_m$$
$$= 2 * n * f_m$$
$$= 2 * 2 * 1MHz$$
$$= 4\ MHz$$

والطيف الترددي يكون على النحو التالي:



الحالة الثالثة:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 60 mV

فان الإزاحة تساوي:

$$\Delta f = \Delta f/A * A$$
$$= 40\ KHz/mV * 60mV$$
$$= 2400\ KHz$$

وبالتالي فان معامل التعديل الترددي يساوي:

$$m_f = \Delta f / f_m$$
$$= 2400\ KHz/ 1000\ KHz$$
$$= 2.4$$

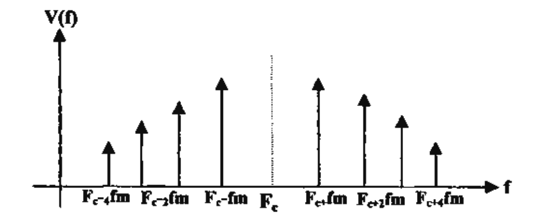
ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية المؤثرة يساوي 4، والملاحظ ان قيمة اقتران بيسيل (J_0 الذي تمثل قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة) يساوي 0 عندما يكون معامل التعديل 2.4 ، وبالتالي يختفي الوميض عند التردد الحامل f_c في الطيف الترددي للموجة المعدلة بالرغم من وجود الحزم الجانبية.

وهذه حالة مهمة وتسمى أول قيمة صفرية للحامل First Carrier Null ، ويستخدم هذا المبدأ بشكل كبير في قياسات التعديل الترددي FM.

وان عرض النطاق للموجة المعدلة يساوي:

$$BW = \text{numbers of side bands} * f_m$$
$$= 2 * n * f_m$$
$$= 2 * 4 * 1MHz$$
$$= 8\ MHz$$

والطيف الترددي يكون على النحو التالي:



الحالة الرابعة:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 100 mV

فان الإزاحة تساوي:

$$\Delta f = \Delta f/A * A$$
$$= 40\ KHz/mV * 100mV$$
$$= 4000\ KHz$$

وبالتالي فان معامل التعديل الترددي يساوي:

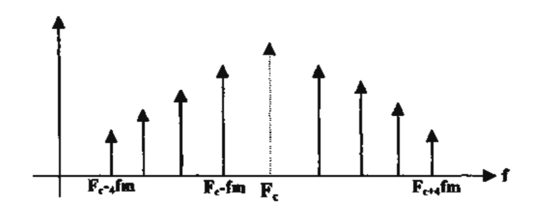
$$m_f = \Delta f / f_m$$
$$= 4000\ KHz / 1000\ KHz$$
$$= 4$$

ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية يساوي 4، وان عرض النطاق للموجة المعدلة يساوي:

$$BW = \text{numbers of side bands} * f_m$$
$$= 2 * n * f_m$$
$$= 2 * 4 * 1\text{MHz}$$
$$= 8\text{ MHz}$$

والملاحظ ان قيمة اقتران بيسيل (J_0 الذي تمثل قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة) أخذت قيمة غير صفرية في هذه الحالة بخلاف الحالة السابقة ، وبالتالي يظهر الوميض عند التردد الحامل f_c في الطيف الترددي للموجة المعدلة بالإضافة إلى وجود الحزم الجانبية.

والطيف الترددي يكون على النحو التالي:



وفي التعديل الترددي لموجة معقدة (موجة مكونة من عدة ترددات f_{m1}، f_{m2}، f_{m3}،.....وليس تردد واحد f_m)، ففي هذه الحالة فان أزواج الحزم الجانبية الناتجة ستكون مختلفة عن الحالات التي تم مناقشتها سابقا. حيث أن الحزم الجانبية الناتجة سوف تحتوي على:

1. الحزم الجانبية الناتجة عن التعديل الترددي لكل تردد على حدة.

$$..........f_c \pm nf_{m1};\ f_c \pm nf_{m2};\ f_c \pm nf_{m3};$$

2. الحزم الجانبية الناتجة عن تجميع الترددات مع بعضها البعض، والتي يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

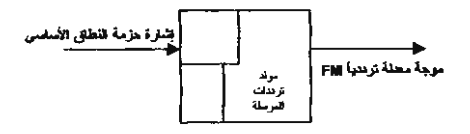
$$f_c \pm n_1 f_{m1c} \pm n_2 f_{m2} \pm n_3 f_{m3} \pm ....$$

حيث n تمثل أي عدد صحيح. وبالتالي يمكن اعتبار الحزم الجانبية في الفقرة النقطة الأولى موجودة ضمنيا في هذه العلاقة عندما تأخذ n قيم صفرية.

2-3 المعدلات الترددية Modulators

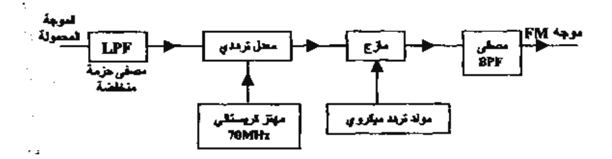
يوجد طريقتين لعملية التعديل الترددي (مباشرة وغير مباشرة). بالنسبة للطريقة المباشرة فالمبدأ فيها توفير دائرة تحول التغير في تردد الإشارة الداخلة إلى تغير في الفولتية الخارجة. والدائرة التي تعمل هذا العمل هي مهتز يتم التحكم بتردده بواسطة فولتية (VCO) Voltage Control Oscillator ، ولتحقيق هذا الغرض يستخدم غالبا مهتز Oscillator عالي الثبوتية والذي يسبب مشكلة للمرسلات التي تستخدم الطريقة المباشرة وهي انه لا يمكن الحصول على التردد الحامل f_c بواسطته وبالتالي يجب إضافة أجهزة ذات تردد عالي الثبوتية من مهتز كريستالي Crystal Oscillator.

والمخطط الصندوقي التالي يوضح الطريقة المباشرة للتعديل الترددي FM:



أما الطريقة غير المباشرة فهي تعتمد على الحصول على موجة معدلة تعديل ترددي ذو نطاق ضيق Narrow Band FM (NBFM)، وفي مرحلة تالية يتم إزاحة هذه الموجة المعدلة إلى ترددات أعلى بواسطة ضارب (أو مازج للإشارة) لتحميل الإشارة على التردد المطلوب.

والمخطط الصندوقي التالي يوضح الطريقة غير المباشرة للتعديل الترددي FM:



بداية تمر الموجة المحمولة على مصفى تمرير الحزمة المنخفضة LPF والذي يحدد تردد الموجة بتردد القطع للمصفى لضمان عدم مرور أية إشارات غير مرغوبة ترددها أعلى من تردد الإشارة الأصلية. ثم تمر الموجة على المعدل الترددي الموصول بمهتز كريستالي عالي التردد (70 MHz) وان كان غير كافي لتوليد الموجات الميكروية، فتكون الإشارة الناتجة من المعدل Modulator هي إشارة NBFM أي أن نسبة التعديل الترددي m_f في هذه المرحلة تكون صغيرة وبالتالي التشويه الناتج يكون قليل.

ثم يقوم المازج برفع تردد إشارة NBFM وإزاحته إلى التردد الميكروي المطلوب أي الحصول على موجة معدلة تعديل ترددي واسع النطاق Wide Band FM (WBFM)ويقوم المصفى الأخير بتمرير الموجة ذات الترددات المرغوبة من بين الترددات الناتجة بعد المازج.

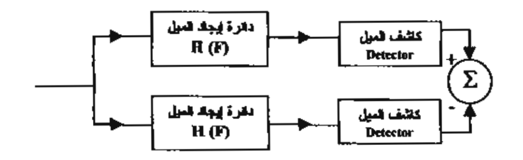
3-3 المعدلات العكسية الترددية Frequency De-Modulators

الغرض من المعدلات العكسية استخلاص الإشارة المحمولة من الإشارة المعدلة FM .أي أننا نحتاج لهذا الغرض إلى دائرة تحول التغير في التردد إلى تغير مقابل في الفولتية وتسمى هذه الدائرة "المميز" (Discriminator) والتي تتكون أساسا من دائرة إيجاد ميل (Derivation) الإشارة المعدلة ومن ثم الكشف عن هذا الميل الذي يشكل الإشارة المحمولة (Envelope Detector). ولكن الإشارة المعدلة FM تتعرض إلى التذبذب في الاتساع أثناء عملية الإرسال، ويجب التخلص أولا من هذا التذبذب قبل إدخال الإشارة المعدلة إلى المميز. والدائرة المسؤولة عن ذلك تدعى "المحدد" (Limiter) . وأهم الدوائر المستخدمة لهذا الغرض هي دائرة Foster-Sealy الذي يعطي علاقة أكثر خطية ولكن يجب أن يسبق بمحدد اتساع، وكاشف النسبة Ratio-Detector التي تتكون من الكاشف والمحدد.

ان الدوائر الأساسية المستخدمة للتعديل العكسي الترددي هي:

1. مميز التردد Discriminator .
2. المعدل العكسي PLL باستخدام التغذية الخلفية Feed Back.

ويمكن رسم المخطط الصندوقي لدائرة مميز التردد على النحو التالي:



حيث يتكون من دائرتي إيجاد ميل(slope) الإشارة المعدلة FM ثم إدخال الإشارة الناتجة عل كاشف الغطاء (Envelope Detector) الذي يستخلص الإشارة المطلوبة التي أصبحت تمثل اتساع (غطاء) الإشارة المشتقة بواسطة دائرة الميل. وتسمى هذه الخطة "مميز للتردد المتوازن". وبالمعادلات الرياضية يمكن توضيح طريقة عمل هذه الخطة، فالإشارة المعدلة تعديل ترددي لها العلاقة التالية:

$$V(t) = V_c \, Sin(\omega_c t + \Delta f/f_m \, Sin(\omega_m t))$$

وبتمرير هذه الإشارة على دائرة الميل. نحصل علة مشتقة هذه العلاقة على النحو التالي:

$$V_d(t) = V_c * (\omega c + \Delta f * 2 * \pi \, Sin(\omega_m t)) * Cos(\omega_c t + \Delta f/f_m \, Sin(\omega_m t))$$

ومن الواضح أن اتساع العلاقة الأخيرة يمثل الموجة المحمولة المراد استرجعها والتي تشكل غطاء الموجة الجيبية، وبالتالي يمكن الحصول عليها بواسطة دائرة كشاف للغطاء Envelope Detector ، فنحصل على الإشارة:

$$V_d(t) = V_c \, (\omega c + \Delta f * 2 * \pi \, Sin(\omega_m t))$$

ويمكن التخلص من الجزء DC في الإشارة باستخدام مكثف Blocking Capacitor.

و مميز التردد المتوازن له عدة أنواع منها:

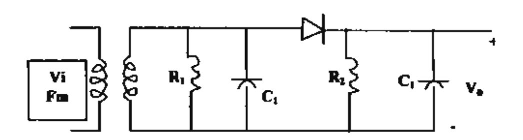
أ. كاشف الميل Slope Detector

ب. كاشف النسبة (المعدل العكسي من نوع Travis).

ج. مميز Foster-Sealy

3-3-1-أ كاشف الميل Slope Detector

وتتكون دائرة كاشف للميل كما هو موضح في الشكل التالي:



حيث يسبب الاختلاف في التردد للإشارة المعدلة FM إلى اختلاف في اتساع الإشارة الخارجة من كاشف النسبة. وتتلخص طريقة عمل هذه الدائرة بالنقاط التالية:

1. يستخدم كاشف النسبة Slope Detector دائرة توليف ولحدة Single Tuned Circuit والتي لها تردد يميل قليلا عن التردد الحامل f_c، مثلا لو كان التردد الحامل يساوي 10.7MHz فان تردد الرنين Resonance Frequency يولف ليكون 10.8MHz.
2. عندما يكون التردد الداخل مساويا للتردد الحامل f_c فان الفولتية الناتجة تكون مساوية لنصف أقصى فولتية محتملة من الدائرة.
3. عندما يزيد تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار $(+\Delta f_c)$ فان تردد الإشارة يتحرك إلى الأعلى على منحنى الاستجابة مسببا زيادة في الفولتية على المخرج. عندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار $(-\Delta f_c)$ فان تردد الإشارة يتحرك إلى الأسفل على منحنى الاستجابة مسببا نقصان في الفولتية على المخرج.

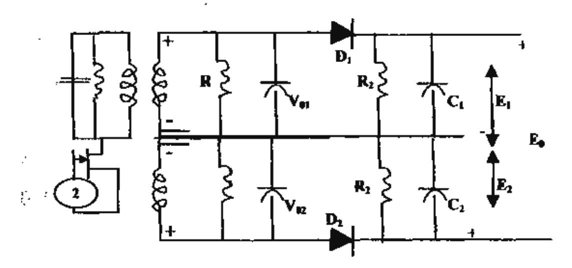
4. ان الإشارة الناتجة في النهاية لا زالت محلة ترددياً ولكن اتساعها يتغير تبعاً للقيمة اللحظية للإشارة المحمولة.والتي يتم الكشف عنها بكاشف الغطاء Envelope Detector المتكون من الوصلة الثنائية Diode ومصفى تمرير الترددات المنخفضة (RC Circuit).

ان المعدل العكسي من نوع كاشف الميل Slope Detector بسيط التصميم وقليل التكلفة، ولكن السيئة الرئيسية فيه هي الخاصية عدم الخطية Non-Linearity، حيث ان منطقة صغيرة من منحنى الاستجابة ذات خصائص خطية، وذلك يسبب تشويه Distortion كبير في الإشارة الخارجة.

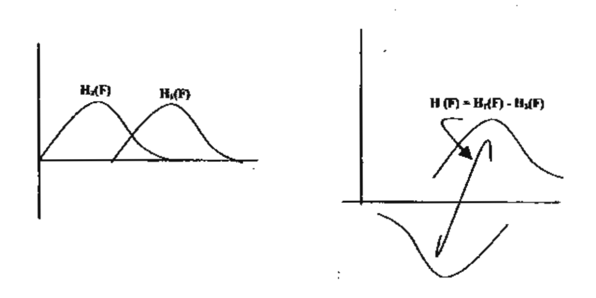
ويمكن تحسين وتطوير عمل هذه الدائرة بإيجاد دائرة ذات خاصية خطية أكبر، كما في المعدل العكسي من نوع Travis.

3-3-1-ب المعدل العكسي من نوع Travis

تتكون دائرة المعدل العكسي Travis كما هو موضح في الشكل التالي:



ان الخصائص الانتقالية Transfer Function للمعدل العكسي Travis خطية وذات حساسية عالية موضحة بالشكل التالي:



ان مبدأ العمل يعتمد على دائرتي رنين Resonance Frequency ، تولف الأولى على تردد أعلى من التردد الحامل f_c وتولف الثانية على تردد أقل من التردد الحامل f_c ، ومدخل كل من الدائرتين متساوي ولكن متعاكس. وعندما يكون التردد الداخل مساويا للتردد الحامل f_c فان الفولتية الناتجة تكون مساوية للصفر، حيث أن كل من الوصلتين D1 و D2 تكونان في حالة التوصيل بالتساوي وبالتالي الفولتية على كل من المقاومتين R1 و R2 تكون متساوية في المقدار ولكن متعاكسة (فرق طور 180درجة) وبالتالي تلغي كل منهما الأخرى.

وعندما يكون التردد الداخل أعلى من التردد الحامل بقيمة عن التردد الحامل f_c بمقدار $(+\Delta f_c)$ فان الكسب يزداد وتوصيل D1 يزداد مسببا زيادة في الفولتية E1 وتوصيل D2 يقل مسببا نقصان في الفولتية E2 وينتج فرق بسيط في الفولتية موجب القطبية. عندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار $(-\Delta f_c)$ فان الوصلة D2 فعالة اكثر وبالتالي E2 تكون أكبر من E1 في هذه الحالة وينتج فرق في الفولتية (D1-D2) سالب القطبية.

ان الخصائص المركبة الناتجة (منحنى الاستجابة) تكون خطية على نطاق أوسع .

ان المعدل العكسي Travis غير مختلف عن غيره من أنواع المعدلات الترددية العكسية الأخرى من حيث التكلفة والتعقيد. كما أن هذه الأنواع تشترك بصفة واحدة وهي حساسيتها للتذبذب في اتساع الموجة الحاملة أو التذبذب في الطور Phase.

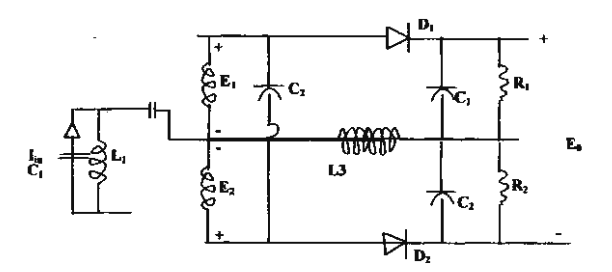
ان التذبذب في اتساع الموجة المعدلة يحدث لأسباب مختلفة خلال انتقال الموجة من المرسل إلى المستقبل عبر الهواء، كالظروف الجوية وتعرض الموجة للتضاريس المختلفة. وتسبب هذا التذبذب في دائرة المعدل العكسي الذي لا يستطيع التمييز الذكي بين التغير بالتردد أو التغير في الاتساع. لذلك يجب ان يسبق المميز دائرة المحدد Limiters للتخلص من هذه الذبذبات أولا.

ان الإشارة الناتجة من المميز تكون مشوهة نتيجة عدة أسباب هي:

1. ان الطيف الترددي للموجة المعدلة تعديل ترددي FM مكون من عدد كبير من الحزم الجانبية وليس من الحزم الفعالة التي يتم حساب عرض النطاق على أساسها، فالاتساع النسبي لتلك الحزم لا يساوي صفرا خارج حدود النطاق المحسوب والمحدد بين القيمتين ($f_c+BW/2$, $f_c-BW/2$).
2. ان ناتج مصفيات التوليف ليست محددة النطاق بشكل دقيق ولذلك ينتج تشويه من مصفي تمرير الحزمة المنخفضة المكون من مقاومة ومكثف (RC).
3. ان الخصائص الانتقالية للمصفي المولد ليست خطية على الدوام وإنما منطقة محددة فقط من حزمة الترددات لها الطبيعة الخطية.

3-3-1-ت مميز Foster - Sealy

تمثل الدائرة التالية مميز فوستر-سيلي foster-Sealy:



حيث دائرتي LC و(L1+L2)C2 تولف بالضبط على التردد الحامل للإشارة والفولتية E3 مطبقة على الملف L3. وكل من الفولتيتين E1 وE2 متساويتان ولكن بينهما فرق طور 180 درجة.

وفي حالة الرنين Resonance حيث يكون التردد الداخل مستويا للتردد الحامل فان فولتية المخرج Eo تساوي صفر. وعندما يكون التردد الداخل أعلى من التردد الحامل بمقدار ($+\Delta f_c$) فان الكسب يزداد وتوصيل D1 يزداد مسببا في النهاية ان فولتية المخرج Eo تأخذ قيم موجبة. وعندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار ($-\Delta f_c$) فان الوصلة D2 فعالة اكثر مسببا في النهاية ان فولتية المخرج Eo تأخذ قيم سالبة.

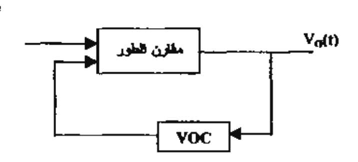
التأثير العام لهذا المميز كان باستبدال فولتية DC على المخرج ذات قيمة متغيرة تتناسب مع التغير في التردد المزاح عن التردد الحامل للإشارة. (كلما ازدادت الإزاحة (Δf_c) كلما ازدادت +Vdc، وكلما قلت الإزاحة (Δf_c) كلما قلت +Vdc ، والإزاحة السالبة تؤدي إلى فولتية سالبة).

3-3-2 المعدل العكسي PLL باستخدام التغذية الخلفية Feed Back

ان دائرة Phase Locked Loop (PLL) هي دائرة تغذية خلفية سالبة Negative Feed Back تستخدم لعكس تعديل موجة المعدلة ترددياً FM.

وتعمل دائرة التغذية الخلفية على تقليل قيمة الخطأ Error Term إلى الصفر (المقصود بقيمة الخطأ الفرق في الطور بين الإشارة الداخلة والإشارة المرجعية Reference).

والمخطط الصندوقي العام لدائرة PLL موضحة في الشكل التالي:



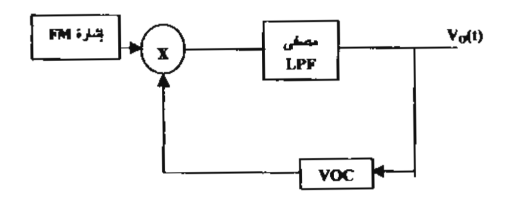
ان الحلقة Loop تقارن بين طور الإشارة المعدلة ترددياً FM وبين طور الإشارة الخارجة من المهتز VCO. وإذا كان الفرق في الطور Phase Shift أي قيمة غير صفرية فان التردد الخارج من VCO بأسلوب يدفع الفرق التالي إلى الصفر.

ومخرج مقارن الطور Phase Comparator يشكل مدخل VCO، ومخرج VCO عبارة عن إشارة معدلة ترددياً FM يتناسب التردد اللحظي لها مع فرق الطور بين الإشارة الداخلة ومخرج VCO.

ان التغير المستمر للإشارة على مدخل VCO ينتج موجة معدلة تعديل عكسي Demodulated Signal من الموجة المعدلة ترددياً FM.

ان الحلقة تكون في حالة قفل' Lock " عندما تكون كل من الإشارة الداخلة المعدلة FM وإشارة مخرج VCO متساويتي التردد ولكن بفرق طور 90 درجة.

وباستخدام مقارن لفرق الطور مكون من ضارب متبوع بمصفى تمرير حزمة منخفضة Low Pass Filter (LPF) (ويسمى مصفى الحلقة Loop Filter) تصبح دائرة المعدل العكسي كما هو موضح في المخطط الصندوقي التالي:



ان المكونات الأساسية لهذا المعدل العكسي هي:

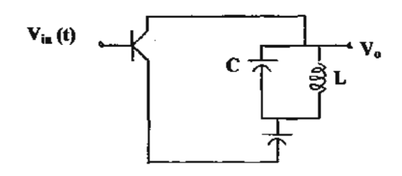
1. ضارب Multiplier.
2. مصفى حلقي Loop Filter.
3. Voltage Control Oscillator (VCO).

ان الفقد Losses في هذه الدائرة يعتمد على مصفى الحلقة.

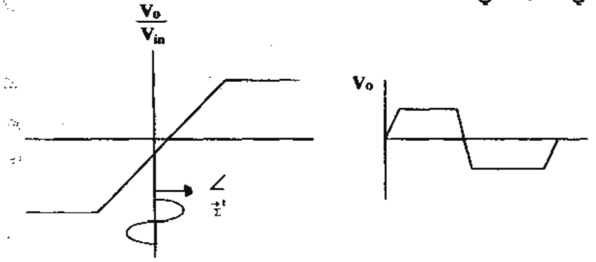
4-3 المحددات Limiters

المحدد Limiter هو الدائرة التي تسبق المميز في المعدل الترددي العكسي والمسؤولة عن التخلص من التذبذبات في اتساع الموجة المعدلة FM

قبل إدخالها إلى دائرة المميز Discriminator. ويمكن ان يتكون المحدد من الوصلة الثنائية أومن ترانزيستور يكبر الإشارة الداخلة وثم دائرة توليف للتخلص من المضاعفات كما في الدائرة التالي:



والخصائص الانتقالية Transfer Function H(f) للمحدد موضحة في الشكل التالي:



ان الإشارة الناتجة من المحدد ذات تردد مختلف عن تردد الإشارة الأصلية(كل من للتردد الأصلي ومضاعفاته Harmonics) لأن الترانزيستور لا يعمل في المنطقة الخطية، ولذلك يليه دائرة توليف عند الجامع Collector للتردد المطلوب.

ويمكن الحصول على محدد قوي Hard Limiter باستعمال وصلتين Diodes على التوازي Parallel ولكن متعاكستين وبذلك يمكن التخلص من التذبذبات البسيطة في الاتساع.

5-3 تأثير التشويش على أنظمة التعديل الترددي Noise Effect

في التعديل الترددي FM يتم تحميل موجة حزمة النطاق الأساسي في تردد الموجة المعدلة وليس في اتساعها كما التعديل السعويAM وان تغير القيمة اللحظية للموجة المحمولة يؤثر فقط في تردد الموجة الحاملة ولا يؤثر في اتساعها. ولذلك فان التغير في اتساع الموجة المعدلة ينتج عن التشويش فقط. ويمكن التخلص من التذبذبات في الإشارة بواسطة المحددات Limiters في المرحلة السابقة لدائرة المميز.

وعندما تكون نسبة قدرة الإشارة إلى التشويش فان التشويش لا يكون له تأثير. وبالرغم من ان عرض النطاق BW للموجة المعدلة تردديا اكبر من عرض النطاق للموجة المعدلة سعويا إلا ان تأثير التشويش الأبيض White في حالة FM أقل من تأثيره في حالة AM.

ولكن بزيادة عرض النطاق يزداد التشويش الأبيض ويمكن ان يتسبب في عطل وانقطاع الاتصال وهبوط في أداء النظام، ويمكن الحد من هذه المشكلة بتقليل عرض النطاق BW والذي يتناسب طرديا مع معامل التعديل الترددي وفقا لعلاقة كارسون:

$$BW = 2f_m(1+m_f)$$

6-3 دوائر التأكيد السابق Pre-emphasis والتأكيد اللاحق De-emphasis

ان للإشارات الصوتية Audio Signal خاصية هامة ومؤثرة، وهي أن قدرة Power الترددات المنخفضة عالية بشكل كبير مقارنة مع قدرة الترددات العالية. فتردد الإشارات الصوتية (الكلامية) محدود نسبة لترددات الإشارة الموسيقية ومع ذلك فان قدرة الترددات فوق 3KHz تكون قليلة. كذلك الحال مع ترددات الإشارات الموسيقية حيث تكون قدرة الإشارة الموسيقية ذات التردد المنخفض عالية بينما قدرة الإشارة الموسيقية ذات التردد العالي تكون قليلة على الرغم من أن مدى الإشارة الموسيقية Music أكبر من مدى الترددات للإشارة الصوتية Audio.

وبالتالي عند تحميل الإشارة الصوتية Audio signal على التردد الميكروي العالي (تعديل الإشارة Modulation) فان مكونات الطيف الترددي الأقرب إلى التردد الحامل يكون لها قدرة عالية، وتنخفض قدرة مكونات الطيف Spectrum للإشارة المعدلة كلما ابتعدت عن التردد الميكروي (وذلك واضح من قيم اقترانات بيسيل التي تمثل الاتساع النسبي لمكونات الطيف الترددي للموجة المعدلة FM، حيث تنخفض قيمة الاقتران بانخفاض درجته).

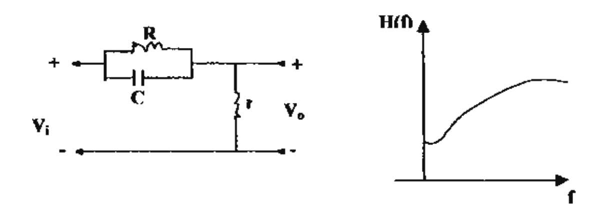
من جهة أخرى، فان التشويش الأبيض White Noise يوجد في جميع الترددات وبنفس المستوى سواء في الترددات العالية أو الترددات المنخفضة. وبالتالي فان قيمة نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضجيج (S/N) في مكونات الطيف الترددي القريبة من التردد الميكروي الحامل للإشارة الصوتية أكبر من قيمتها في الترددات البعيدة عن ذلك التردد الميكروي.

بعد التعرف على هذه الخاصية للموجة الصوتية، السؤال الذي يطرح نفسه: كيف يمكن تحسين أداء performance أنظمة FM ؟ أو بكلمات أخرى كيف يمكن الاستفادة من خاصية إشارة الضجيج وخاصية الإشارة المسموعة

لزيادة نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضجيج Signal to Noise Ratio (SNR) ؟

الجواب هو دوائر التأكيد السابق Pre-emphasis والتأكيد اللاحق De-emphasis. وبتوضيح ماهية هاتين الدائرتين يتضح كيف يتم تحسين الأداء.

دائرة التأكيد السابق عبارة عن مصفى ذو طبيعة عمل معينة، حيث يقوم بتكبير الإشارة ذات الترددات العالية فهو يعمل كمصفى تمرير الحزم الترددية العالية HPF وفي نفس الوقت يسمح بمرور الترددات المنخفضة بدون أن تكبر. والشكل التالي يوضح مكونات دائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis والخصائص الانتقالية Transfer Function لها:



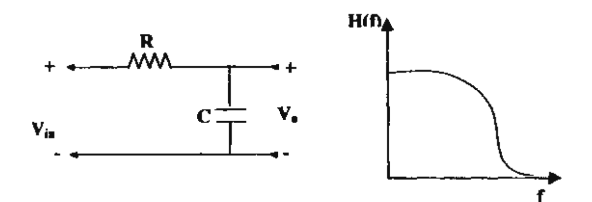
وبإدخال الموجة المعدلة FM في المرسلة Transmitter على دائرة التأكيد اللاحق Pre-emphasis قبل إرسالها فان ذلك يزيد من قدرة مكونات الطيف الترددي البعيدة عن الحامل (دون التأثير السلبي على مكونات الطيف القريبة من الحامل). وبزيادة قدرة الإشارة S فان النسبة SNR تزيد، أي ان أداء النظام يتحسن. ويتناسب الكسب لهذه الدائرة طرديا مع مربع التردد ($G \alpha f^2$).

ومن الجهة الأخرى، أي المستقبلة Receiver، لا بد من معادلة Equalization تأثير مصفى التأكيد السابق التي أضيفت في المرسلة. وتتم هذه المعادلة بإضافة دائرة التأكيد اللاحق De-Emphasis التي لها خواص انتقالية مكافئة لمقلوب الخواص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق،أي أن:

$$H_d(f) = 1/H_p(f)$$

ومن ذلك يمكن الاستنتاج ان دائرة التأكيد اللاحق تعمل كمصفي تمرير الحزمة الترددية المنخفضة LPF لتعادل التغيير الذي سببه مصفى التأكيد السابق ولخفض التشويش Noise. ويتناسب الكسب لهذه الدائرة عكسيا مع مربع التردد ($G \alpha 1/f^2$).

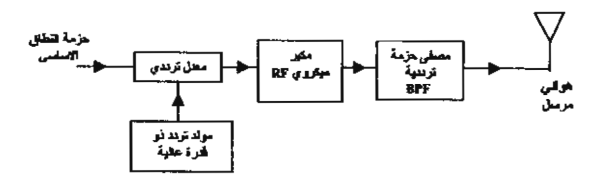
ومثال بسيط لدائرة التأكيد اللاحق والخواص الانتقالية لها موضح في الشكل التالي:



3-7 المستقبلات Receivers

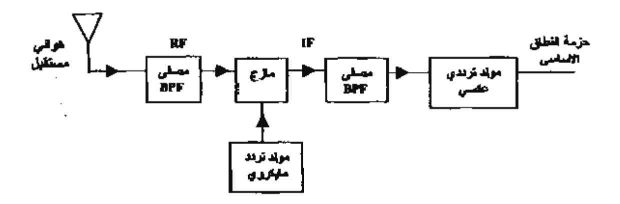
ان عمل المرسلة Transmitter يتلخص بتحويل الإشارة الفيزيائية المرسلة (صوت، صورة،.....) إلى إشارة كهربائية (ذات التردد المنخفض، أو ذات حزمة النطاق الأساسي)، وتحميل هذه الإشارة على تردد حامل عالي بأحد تقنيات التعديل Modulation وتمرر على عدة مراحل تكبير Amplification

قبل إرسالها عبر الهوائي الذي يحول الإشارة المعدلة Modulated Signal ذات التردد العالي إلى موجة كهرومغناطيسية تنتقل عبر الهواء أو الفراغ (الوسط الناقل). والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي Block Diagram العام لمرسلة تستخدم التعديل الترددي Frequency Modulation FM:



وتنتقل الموجة خلال الوسط الناقل لها وتتعرض خلال انتقالها إلى التوهين وإضافة إشارة الضجيج وغيرها من العوامل التي تسبب الخسارات فيها إلى حين وصولها إلى الجهة الأخرى من نظام الاتصال Communication System حيث توجد المستقبلة Receiver.

ولتتم عملية الاتصال بشكل ناجح (أي إتمام عملية نقل المعلومة ووصولها بشكل واضح)، فعلى المستقبلة التقاط الموجة الكهرومغناطيسية وتكبيرها إلى المستوى المطلوب، وتحويلها إلى إشارة كهربائية معدلة مطابقة (أو مشابهة) لتلك التي كانت في المرسلة، ومن ثم استخلاص حزمة النطاق الأساسي (الموجة المحمولة) من الموجة المعدلة ذات التردد العالي (أي عكس عملية التعديل التي تمت في المرسلة "عملية التعديل العكسي De-Modulation" وفي المرحلة النهائية يتم تحويل الإشارة الكهربائية إلى الإشارة الفيزيائية المرسلة أصلا بواسطة الجهاز المناسب (سماعة، شاشة عرض،......). والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي Block Diagram العام لمستقبلة تستخدم التعديل الترددي FM:



وبالتالي يمكن تلخيص العمليات التي تقوم بها أجزاء المستقبلة Receiver بما يلي:

1. وظيفة هوائي المستقبلة Antenna: التقاط الموجة المرسلة ذات التردد الميكروي بشكل جيد وبكفاءة عالية عند مختلف الترددات ومن كافة المحطات المرسلة المختلفة وتحويل هذه الموجة الكهرومغناطيسية إلى موجة كهربائية معدلة.
2. وظيفة مصفى تمرير الحزمة الراديوية Band Pass Filter: التخلص من الترددات غير المرغوبة المصاحبة للموجة المستقبلة بشكل فعال ودقيق.
3. وظيفة دائرة ضبط الربح الآلي Automatic Gain Control (AGC): معالجة التغييرات المتباينة الناتجة عن الفقد في الفراغ الخارجي التي تحدث للإشارة خلال انتقالها من المرسلة إلى المستقبلة قبل تكبيرها أو إدخالها إلى دوائر التعديل العكسي، وذلك من خلال تحكم دائرة AGC بأقصى قيمة في الهبوط في مستوى الإشارة المستقبلة (عادة بين 40-50 dB). حيث تعمل هذه الدائرة للحصول على مستوى ثابت للإشارة المستقبلة (التي تلتقط بواسطة الهوائي بمستويات مختلفة)، وهذا المستوى الثابت له في الغالب قيمة معيارية 5 dB.

مثال توضيحي لفكرة عمل دائرة AGC: إذا التقط هوائي المستقبلة إشارة تعرضت لهبوط في مستواها بمقدار 43 dB فان دائرة AGC ترفع هذه الإشارة إلى المستوى المعياري الثابت وهو 5 dB قبل إدخالها إلى المرحلة التالية في المستقبلة. كذلك الحال لو التقط هوائي المستقبلة إشارة تعرضت لهبوط في مستواها بمقدار 47 dB فان دائرة AGC ترفع هذه الإشارة إلى نفس المستوى المعياري الثابت وهو 5 dB قبل إدخالها إلى المرحلة التالية في المستقبلة.

أي ان الإشارة التي تدخل على المرحلة التي تلي دائرة AGC تكون دائما بمستوى يساوي المستوى المعياري الثابت بغض النظر عن مستواها عند الهوائي.

4. وظيفة المعدل العكسي **De-Modulator** : تمييز الموجة المحمولة في الموجة المعدلة FM، أي استخلاص حزمة النطاق الأساسي من التردد الميكروي الحامل.

وعملية التعديل (وعملية التكبير) يمكن أن تتم عند ترددات أقل من التردد الميكروي تعرف بالترددات المتوسطة Intermediate Frequency IF، حيث يتم العمل في الترددات المتوسطة بشكل أبسط من الترددات الميكروية العالية، ومن المخطط الصندوقي للمستقبلة يتضح ان العمليات التي تتم عند التردد المتوسط IF هي:

أ. التحكم الآلي بربح الموجة المستقبلة (دائرة AGC).

ب. استرجاع الموجة الأصلية ذات حزمة النطاق الأساسي من الموجة المعدلة المستقبلة ذات التردد الميكروي (عملية التعديل العكسي De-Modulation)

ج. تصفية الترددات غير المرغوبة القريبة من التردد الميكروي المطلوب.

في الأنظمة الميكروية ذات 1800 قناة تكون قيمة التردد المتوسط 70 MHz، بينما في الأنظمة ذات 2700 قناة تكون قيمة التردد المتوسط 140 MHz. أما في أنظمة UHF ذات السعة القليلة فتكون فيه قيمة التردد المتوسط 35 MHz فقط.

3-8 مرسلات التعديل المباشر

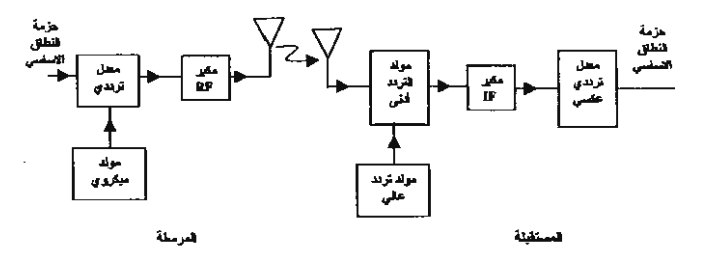
من الناحية العملية، ان أنظمة الاتصالات Communication Systems تعمل في مدى الترددات الميكروية والعالية جدا (مثلا التردد الحامل في أنظمة البث الإذاعي تتراوح قيمته بين 88-108 MHz). فليس من المنطق إرسال إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض بشكل مباشر، وذلك لعدم قدرتها على الانتشار لمسافات طويلة. ومن هنا يأتي دور وأهمية عملية التعديل الترددي FM، لتحميل إشارة المعلومات (ذات حزمة النطاق الأساسي Base Band Signal) على إشارة ذات تردد عالي التي أصبحت تعمل عمل وسيلة نقل مسؤولة عن توصيل الإشارة المحمولة عليها إلى نقطة الوصول المطلوبة (المستقبل).

وبإجراء عملية التعديل Modulation يتم نقل إشارة المعلومات من حزمة النطاق الأساسي Base Band إلى حزمة الترددات العالية Band Pass Signal.

ان الإشارة المرسلة يجب أن تكون ضمن مقاييس معينة لضمان استقبال جيد في الطرف الآخر من النظام عند المستقبلة. فيجب أن تكون الإشارة المرسلة ذات قدرة كافية لإرسالها إلى مسافات كبيرة بحيث تكون الإشارة المستقبلة في الجهة الأخرى ضمن المستوى المسموح به (فلا تكون إشارة الضجيج بمستوى أعلى من مستوى إشارة المعلومات). كما يجب ان تكون هذه

القدرة مركزة عند التردد الحامل للموجة وليس عند أي تردد آخر غير مرغوب حيث سيتم في المستقبلة تصفية هذه الترددات الغير مرغوبة.

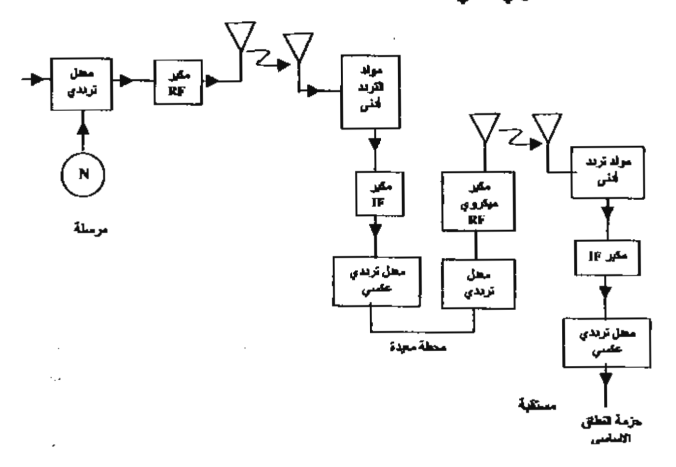
والمقصود بمرسلات التعديل المباشر المرسلات التي تعدل فيها إشارة المعلومات الموجة الميكروية التي تولد بواسطة المهتزات المحلية (أو غيرها من المهتزات) دون الحاجة لترددات متوسطةIntermediate Frequency. والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لنظام التعديل المباشر المتكون من مرسلة ومستقبلة بدون أي محطات تقوية (إعادة) بينهما:



ففي المرسلة يقوم المهتز المحلي بتوليد الموجة الميكروية التي تعدل بموجة حزمة النطاق الأساسي بواسطة أحد المعدلات الترددية التي تم شرحها سابقا، ويتم تكبير الموجة المعدلة لزيادة قدرتها قبل بثها من خلال الهوائي. أما في المستقبلة يتم تحويل التردد الميكروي المستقبل الحامل لموجة المعلومات إلى تردد أدنى (تردد متوسط)، الذي يكبر ثم يعدل عكسيا بأحد دوائر التعديل الترددي العكسي لاسترجاع حزمة النطاق الأساسي Base Band.

وتستعمل طريقة التعديل المباشر مع الأنظمة التي تتعامل مع حزمة الترددات UHF. كما أن أنظمة الاتصال الميكروية لمسافات 400 Km تستعمل

طريقة التعديل المباشر ولكن توضع محطات تقوية وإعادة (وتسمى قفزات) بين المرسلة والمستقبلة الأساسيتين الموجودتين على الأطراف، كما هو موضح في المخطط الصندوقي التالي:



ويتكون المعيد من دائرة للاستقبال ودائرة لإعادة الإرسال مربوطتان خلف لخلف Back to Back، حيث يتم استقبال الإشارة المرسلة وتمر بنفس المراحل في المستقبل السابق ثم تكبر ويعاد تعديلها وإرسالها. والغرض من هذه المعيدات غير المأهولة تقوية الإشارة المرسلة بين أطراف تقل بينهما مسافات بعيدة، وغالبا ما تشكل هذه الأطراف قرى لها مقاسم تليفونية بحيث يؤخذ عدد من القنوات الصوتية وتربط مع المقسم بينما محطات التقوية البينية فلا تحتوي مقاسم تليفونية ولا تتعامل مع قنوات صوتية (وبالرغم من ذلك تحتوي كل

الأجهزة اللازمة للتعديل والتعديل العكسي). وتسمى المعيدات في أنظمة التعديل المباشر بمعيدات حزمة النطاق الأساسي.

ان نظام التعديل المباشر له عدد من السيئات، هي:

1. تعدد أجهزة التعديل والتعديل العكسي يشارك في إنتاج إشارات غير مرغوبة (تشويش) في القنوات الصوتية.
2. تسبب أجهزة التعديل والتعديل العكسي أو أجهزة تكبير حزمة النطاق الأساسي حدوث تغييرات في مستوى حزمة النطاق الأساسي. وفي أنظمة الاتصال بعيدة المدى يوضع عدد أكبر من المعيدات وبالتالي عدد أكبر من هذه الأجهزة، مما يجعل لهذه التغييرات تأثير فعال ويصبح هنالك حاجة للصيانة المستمرة للأجهزة.

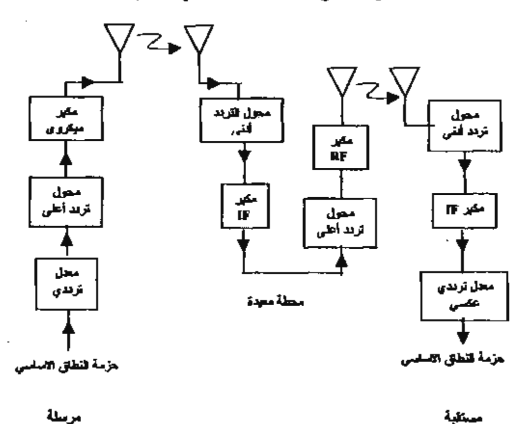
وبسبب هذان السببان لا يستعمل التعديل المباشر. ولنما يستعمل النوع الآخر من المرسلات، هو نظام التعديل الهيترودايني Heterodyne Transmitter.

3–9 المرسلات الهيتروداينية Heterodyne Transmitter

الفرق الأساسي بين أنظمة التعديل المباشر والأنظمة الهيتروداينية يكمن في المرسلة، فخلافا لمرسلة التعديل المباشر (التي يتم تعديل إشارة حزمة النطاق الأساسي فيها مباشرة)، ففي مرسلة التعديل الهيترودايني يتم رفع التردد من حزمة النطاق الأساسي إلى تردد أعلى (تردد متوسط) ويتم تعديل الموجة الميكروية ذات التردد العالي (70MHz) بالموجة المتوسطة، أما في المستقبلة فيتم تحويل التردد الميكروي إلى تردد أقل قيمة والذي يمثل أيضا التردد المتوسط وتدخل الموجة المتوسطة إلى معدل عكسي ترددي للحصول على حزمة النطاق الأساسي. ولا تتعامل المعيدات في أنظمة التعديل الهيترودايني

مع حزمة النطاق الأساسي. وإنما يحول الإشارة الميكروية إلى إشارة متوسطة ثم يعيد تعديلها ترددياً وتكبيرها قبل إعادة إرسالها، ولذلك تسمى المعيدات في هذه الأنظمة بمعيدات الموجة المتوسطة (معيدات IF).

والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لنظام التعديل الهيتروديني:



أسئلة الوحدة الثالثة

س1) ما المقصود بالتعديل الترددي FM؟

س2) ما الفائدة من تعديل الموجة تردديا FM؟

س3) ما الفرق الذي تلاحظه بين محطة إذاعية من نوع FM ومحطة إذاعية أخرى من نوع AM؟

س4) إذا كان تردد الموجة المحمولة يساوي 15KHz وانحراف التردد للموجة المعدلة تعديل ترددي FM يساوي 10KHz ، احسب معامل التعديل.

س5) احسب معامل التعديل للسؤال السابق إذا كان انحراف التردد Δf يساوي 20KHz.

س6) موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 2 \, Sin(10^{12} \, t + Sin(1000t))$$

ما قيمة انحراف التردد لهذه الموجة؟

س7) موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 4 \, Sin(10^{12} \, t + 2 \, Sin(2000t))$$

ما قيمة انحراف التردد Δf_{rms} لهذه الموجة؟

س8) موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 2.5 \, Sin(10^{12} \, t + 3 \, Sin(628*10^{4} \, t))$$

ما قيمة انحراف التردد Δf_{max} لهذه الموجة؟

س9) إذا كان تردد الموجة المحمولة f_m = 24KHz ، وانحراف التردد للموجة المعدلة 4KHz، فما عرض النطاق (BW) المطلوب لإرسال الموجة المعدلة FM ؟ (استعن بجدول معامل التعديل الترددي)

س10) محطة FM تبث موجات صوتية ذات مدى ترددي (50Hz -25KHz) فما مدى معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة، مع العلم أن أقصى انحراف تردد لمحطة FM هو 75KHz .

س11) إذا كان تردد الموجة المحمولة $f_m = 20KHz$ ، وانحراف التردد للموجة المعدلة 40KHz، فما عرض النطاق (BW) المطلوب لإرسال الموجة المعدلة FM ؟ (استعن بجدول معامل التعديل الترددي)

س12) محطة FM تبث موجات صوتية ذات مدى ترددي (10Hz - 100KHz) فما مدى معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة، مع العلم أن أقصى انحراف تردد لمحطة FM هو 75KHz .

س13) التعديل الترددي لموجة معقدة (موجة مكونة من عدة ترددات f_{m1}، f_{m2}، f_{m3}،....وليس تردد واحد f_m)، يختلف عن التعديل الترددي لموجة بسيطة ذات تردد واحد. فما هو هذا الاختلاف؟ وما هي الحزم الجانبية الناتجة في حالة التعديل الترددي للموجة المعقدة؟

س14) إذا كانت لدينا الموجة المعقدة التالية:

$$V(t) = 4\ Sin(2000t) + 2\ Sin(1000t)$$

وأردنا عمل تعديل ترددي FM لها، فما ترددات الحزم الجانبية التي ستظهر في الطيف الترددي للموجة المعدلة، إذا كان تردد للموجة الحاملة يساوي 10^{12} GHz؟

س15) إذا كانت لدينا الموجة المعقدة التالية:

$$V(t) = 4\ Sin(2000t) + 2\ Sin(1000t) + 2\ Cos(1500t)$$

وأردنا عمل تعديل ترددي FM لها، فما ترددات الحزم الجانبية التي ستظهر في الطيف الترددي للموجة المعدلة، إذا كان تردد الموجة الحاملة يساوي $2*10^{12}$ GHz؟

س16) ما تأثير زيادة إزاحة التردد Δf على عرض النطاق للموجة المعدلة ترددياً FM ؟

س17) ما طرق التعديل الترددي FM؟ ما التقنية المتبعة في كل من هذه الطرق؟

س18) ما الفرق بين إشارة NBFM وإشارة WBFM ؟

س19) ما الغرض من المعدلات العكسية Frequency Demodulators ؟

س20) ما الدوائر الأساسية المستخدمة للتعديل العكسي الترددي ؟

س21) ما المقصود بخطة مميز التردد المتوازن؟ ما المخطط العام لهذه الخطة؟ وما آلية عملها؟

س22) اذكر ثلاثة أنواع لمميز التردد المتوازن موضحاً آلية عمل كل منها.

س23) ما أسباب التشوه في الإشارة الناتجة من المميز ؟

س24) ما المكونات الأساسية لهذا المعدل العكسي PLL؟

س25) ما وظيفة المحدد Limiter؟ وكيف يمكن الحصول على محدد قوي؟

س26) قارن بين تأثير التشويش الأبيض على موجتين أحدها عدلت تعديل ترددياً FM والثانية عدلت تعديل سعوي AM؟

س27) ما المقصود بدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis ؟ ما الخصائص الانتقالية لها ؟ ما تأثيرها على الإشارة المعدلة FM المرسلة؟ أعطي مثال بسيط عنها.

س28) ما المقصود بدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis؟ ما الخصائص الانتقالية لها ؟ ما تأثيرها على الإشارة المعدلة FM المستقبلة؟ أعطي مثال بسيط عنها.

س29) ما العلاقة بين الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis والخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis؟

س30) إذا كانت الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis على النحو التالي:

$$H_p(f) = 10+j200$$

فجد الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis لهذا النظام.

س31) إذا كانت الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis على النحو التالي:

$$H_d(f) = 10/(1+j(1/200))$$

فجد الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis لهذا النظام.

س32) ما العلاقة بين كسب دائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis والتردد f؟

س33) ما العلاقة بين كسب دائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis والتردد f؟

س34) لماذا لا يتم إرسال إشارة حزمة النطاق الأساسي بشكل مباشر دون أي تعديل؟

س35) ما المقاييس التي يجب أن تتواجد في الإشارة المعدلة ترددياً FM قبل إرسالها؟

س36) ما سيئات نظام التعديل المباشر؟

س37) مما يتكون نظام التعديل المباشر؟

س38) ماذا تسمى المعيدات في نظام التعديل المباشر؟ ما سبب هذه التسمية؟

س39) مما يتكون نظام الهيتروديني؟

س40) ماذا تسمى المعيدلت في نظام التعديل الهيتروديني؟ ما سبب هذه التسمية؟

س41) كيف تتم معالجة سيئات للتعجيل المبشر في نظام التعديل الهيتروديني؟

س42) إذا كان عدد الحزم الجانبية الفعالة في موجة معدلة FM 4 حزم، وعرض الحزمة 100MHz. فما قيمة تردد الموجة المحمولة fm؟

الوحدة الرابعة



العوامل المؤثرة على أنظمة الميكرويف

العوامل المؤثرة على أنظمة الميكرويف

4-1 التشويش وأنواعه Types of Noise

التشويش أو الضجيج Noise عبارة عن إشارة غير مرغوبة Undesired Signal تضاف إلى الإشارة الأصلية وتظهر في الإشارة التي تصل المستقبلة.

ان التشويش هي النقطة التي يجب على جميع دارسي الإلكترونيات Electronics والاتصالات Telecommunications التعرف عليها بشكل جيد. إنها النقطة التي تحدد أداء Performance وكفاءة أي نظام System. ان إشارات الضجيج تكون ضعيفة بشكل عام (تقاس بوحدة μV)، لذلك من الغريب التفكير لماذا تشكل هذه المشكلة! ان المستقبل Receiver في أنظمة الاتصالات يعد جهاز حساس جدا Very Sensitive حتى للإشارات الضعيفة وتليه مباشرة مرحلة تكبير Amplification عالي لتلك الإشارات قبل وصولها نهاية إلى السماعة Speaker أو جهاز عرض آخر سمعي أو مرئي.

وهناك نوعين من الضجيج: الضجيج الذي يضاف إلى الإشارة المرسلة أثناء انتقالها في الوسط الناقل Medium ويعرف هذا النوع بالضجيج الخارجي External Noise، أما النوع الآخر فهو الضجيج الذي ينتج في المستقبل نفسه ويعرف بالضجيج الداخلي Internal Noise.

ومن أنواع الضجيج الخارجي External Noise:

1. الضجيج الناتج عن الأخطاء البشرية Man-Made Noise وهي تحدث في ترددات 500MHz وما فوق، كما أنها ضعيفة جدا.

2. الضجيج الجوي Atmospheric Noise : هو الضجيج الذي ينتج من الاضطرابات في الجو المحيط بالأرض والذي ينتشر في الترددات المختلفة. وهو يصبح أقل أهمية Less severe في الترددات الأعلى من 30 MHz للسببين التاليين:

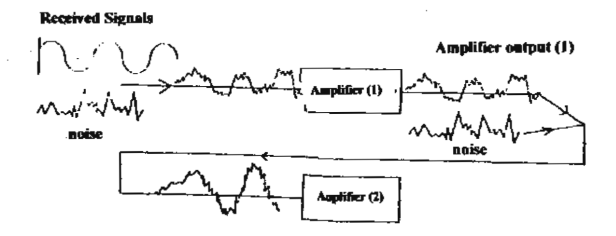
أ. الترددات الأعلى محددة بمدى خط النظر المباشر ، أي أقل من 80 Km.

ب. طبيعة الميكانيكية المولدة لها الضجيج تولد إشارة ضجيج أقل بكثير في حزمة ترددات VHF والترددات الأعلى منها.

3. الضجيج الفضائي Space Noise : ويوجد نوعين منه: الضجيج الكوني Cosmic Noise والضجيج الشمسي Solar Noise. ويلاحظ الضجيج الفضائي في مدى الترددات بين 8 MHz و1.43 GHz وترددات أعلى من هذه في بعض الأحيان.

أما الضجيج الداخلي Internal Noise كما ذكر سابقا فهو الضجيج الذي يضاف من المستقبل نفسه (أي أن الضجيج الخارجي الداخل إلى هوائي Antenna المستقبلة يضاف له ضجيج يولد في المستقبل Receiver قبل وصوله إلى المخرج الأخير).

ان أهم إسهام للضجيج في المستقبل يحدد بمرحلة التكبير الأولى حيث ان الإشارة المرغوبة ذات مستوى قليل في تلك المرحلة وبالتالي فان الضجيج سوف يكون له تأثير كبير. وبين مرحلة التكبير الأولى والثانية يضاف ضجيج آخر ولكن ليس له نفس التأثير. ويجب أن يؤخذ تأثير الضجيج في المرحلتين عند تصميم المكبرات Amplifiers. والشكل التالي يوضح مراحل إضافة الضجيج على الإشارة في المستقبل:



وأهم أنواع الضجيج الذي يولد في المستقبلة (الضجيج الداخلي) هو الضجيج الحراري Thermal Noise، كونه الضجيج الذي لا نستطيع التحكم به.

<u>التشويش الحراري Thermal Noise</u>

هو الناتج عن خسارة جزء من الطاقة بشكل حرارة، وتحسب قدرة الضجيج وفقا للعلاقة التالية:

$$P_n = KT\Delta f$$

حيث:

P_n : يمثل قدرة إشارة الضجيج Noise Power

K: يمثل ثابت بولتزمان Boltzmann Constant ويساوي $1.38 * 10^{-23}$ Joul/Kelven

T: يمثل درجة حرارة المقاومة بوحدة الكيلفين Kelvin (k)

Δf: يمثل عرض الحزمة الترددية Band Width للنظام بوحدة الهرتز Hz.

فالعلاقة بين قدرة هذا الضجيج وعرض نطاق النظام علاقة طردية مباشرة، فكلما زاد عرض النطاق كلما ازدادت قدرة الضجيج الحراري Thermal Noise.

ويمكن التعويض عن معادلة القدرة في المعادلة أعلاه لتصبح على النحو التالي:

$$P_n = V_n^2 / R = KT\Delta f$$

وبما ان أعلى قدرة تحدث عندما يكون مقاومة المصدر مساوية لمقاومة الحمل $(R=R_L)$، فتصبح الفولتية على الحمل توزع مناصفة بين المقاومتين وبالتالي تصبح المعادلة:

$$P_n = (V_n/2)^2/R = KT\Delta f$$

فان للفولتية المكافئة للضجيج الحراري تساوي:

$$V_n = \sqrt{4 KT\Delta fR}$$

مثال1: مكبر يعمل في حزمة الترددات الممتدة بين 18 MHz إلى 20 MHz، له مقاومة تساوي 10 KΩ، ما قيمة فولتية الضجيج الداخلة إلى المكبر إذا كانت درجة الحرارة المئوية 27°C ؟

الحل:

أولا يجب تحويل درجة الحرارة من الوحدة المئوية C إلى الكيلفين K حسب العلاقة التالي:

$$T = C + 273$$
$$= 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

كما يجب حساب عرض الحزمة الترددية Δf وفقا للعلاقة:

$$\Delta f = f_h - f_l$$
$$= 20 - 18 = 2 \text{ MHz}$$

بالإمكان الآن حساب قيمة إشارة الضجيج الداخلة إلى المكبر وفقا للعلاقة:

$$V_n = \sqrt{4\ KT\Delta fR}$$
$$= \sqrt{4 * 1.38 * 10^{-23} * 300 * 2*10^6 * 10^4}$$
$$= \sqrt{24 * 1.38 * 10^{-11}}$$
$$= 18.2\ \mu V$$

مثال2: مضخم يعمل بعرض نطاق ترددي 4 MHz له مقاومة 100Ω يعمل بدرجة حرارة 27C° وله كسب يساوي 200، الإشارة الداخلة تساوي $5\mu V_{rms}$، جد قيمة الإشارة الضجيج وإشارة المعلومات الخارجة من المكبر.(أهمل الضجيج الخارجي).

الحل:

أولا يجب تحويل درجة الحرارة من الوحدة المئوية C إلى الكيلفين K حسب العلاقة التالي:

$$T = C + 273$$
$$= 27 + 273 = 300\ K$$

لحساب قيمة إشارة الضجيج الخارجة يجب أولا حساب قيمة إشارة الضجيج الداخلة إلى المكبر وفقا للعلاقة:

$$V_n = \sqrt{4\ KT\Delta fR}$$
$$= \sqrt{4 * 1.38 * 10^{-23} * 300 * 4*10^6 * 100}$$
$$= 2.57\ \mu V$$

ان إشارة الضجيج تكبر بنفس النسبة التي تكبر بها الإشارة المرغوبة وهي في هذا المثال 200 مرة، وبالتالي فان الإشارة الخارجة تساوي:

$$V_o = V_{in} * G$$

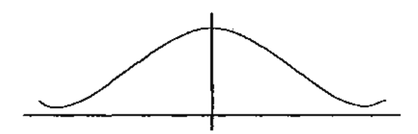
إشارة المعلومات الخارجة من المكبر تساوي:

$$V_o = 5 * 10^{-6} * 200 = 1\ mV$$

إشارة الضجيج الخارجة من المكبر تساوي:

$$V_{no} = 2.57 * 10^{-6} * 200 = 0.514\ mV$$

ان التشويش الأبيض White Noise له مركبة في جميع الترددات ويأخذ شكل جاوسيان في توزيع الطيف الترددي والموضح في الشكل التالي:



وبما ان عرض الحزمة للإشارة المعدلة FM يعطى (بشكل تقريبي) حسب علاقة كارسون:

$$BW = 2(f_m + \Delta f)$$

حيث :

Δf : تمثل الإزاحة القصوى للتردد.

f_m: تمثل أعلى تردد للموجة المحمولة.

فان الجزء الذي يؤثر من التشويش الأبيض على الإشارة المعدلة يكون الجزء المحصور بعرض الحزمة هذه، وبذلك فان زيادة عرض الحزمة للموجة المعدلة يصاحبه زيادة نسبة التشويش الأبيض .

ولكن إذا كانت نسبة قدرة الإشارة المعدلة إلى قدرة إشارة الضجيج كبيرة (S/N)، فان النظام لا يتأثر في هذه الحالة. وبمقارنة نظام FM بنظام AM في هذه الحالة، فان تأثير التشويش في نظام FM يكون أقل من تأثيره في نظام AM ولكن عرض النطاق في نظام FM يكون أكبر.

ولكن إذا أصبحت نسبة (S/N) قليلة فان التشويش يؤثر على الاتصال ويهبط أداء نظام FM بشكل كبير. ويمكن التقليل من هذه المشكلة بتقليل عرض النطاق BW.

ان من أهم العلاقات الأساسية المستخدمة في أنظمة الاتصالات هي "نسبة الإشارة إلى الضجيج (Signal to Noise Ratio (S/N)". وهي مقياس نسبي لقدرة إشارة المعلومات S إلى قدرة إشارة الضجيج N والموضحة بالعلاقة الرياضية التالية:

$$S/N = P_s/P_n$$

وعادة ما يعبر عن هذه النسبة بالصيغة اللوغاريتمية:

$$S/N = 10 \text{ Log}\{ P_s/P_n\}$$

ومن المقاييس التي تعامل مع الضجيج مقياس " Noise Figure NF" والذي يعطي تصور عن مدى التشويش الناتج من الجهاز ويعرف على النحو التالي:

$$NF = 10 \text{ Log}\{ (S_i/N_i)/ (S_o/N_o)\}$$

حيث:

S_i/N_i : تمثل نسبة قدرة إشارة المعلومات إلى إشارة التشويش عند مدخل الجهاز.

S_o/N_o : تمثل نسبة قدرة إشارة المعلومات إلى إشارة التشويش عند مخرج الجهاز.

مثال1: إذا كانت فولتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 1mV والضجيج تساوي 0.514 mV، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟

الحل:

العلاقة بين القدرة والفولتية تعطى على النحو التالي:

$$P = V^2/R$$

وتطبق هذه العلاقة على إشارة الضجيج أيضا، وبالتالي فان:

$$S/N = 10\ Log\{P_s/P_n\}$$
$$= 10\ Log\ \{(V_s^2/R) / (V_n^2/R)\}$$
$$= 10\ Log\{V_s^2 / V_n^2\}$$
$$= 20\ Log\ \{V_s / V_n\}$$
$$= 20\ Log\ \{1/0.514\}$$
$$= 5.78\ dB$$

مثال2: إذا كانت نسبة S/N عند مدخل مكبر Amplifier تساوي 10، نسبة S/N عند مخرجه تساوي 5، فاحسب FN لهذا المكبر.

الحل:

بالتعويض المباشر في قانون NF نحصل على الجواب:

$$NF = 10\ Log\{(S_i/N_i)/ (S_o/N_o)\}$$
$$= 10\ Log\ \{10/5\} = 10\ Log(2) = 3\ dB$$

2-4 التشويه Distortion

يختلف التشويه عن التشويش بكون الثاني يمثل إشارة خارجية غير مطلوبة تضاف إلى إشارة المعلومات المرغوبة بشكل لا إرادي مسببة تغيير في اتساعها. أما التشويه Distortion فهو تغيير غير مرغوب (تشويه) يحدث لموجة المعلومات نفسها قد يسبب اختلاف في الاتساع أو التردد أو الطور أو يكون مركب من أكثر من عنصر منهم. ويحدث التشويه نتيجة مرور الإشارة بقناة الإرسال أو أي دائرة أخرى خلال عملية الاتصال بحيث تسبب تلك الدائرة التشويه غير المرغوب عند أدائها لعملها (على اختلاف نوع هذا العمل).

ويقسم التشويه بشكل عام إلى قسمين (أو نوعين)، هما:

1. تشويه خطي Linear Distortion: وينتج من دائرة ذات علاقة خطية، أو بكلمات أخرى ذات خصائص انتقالية (تر بط بين الإشارة الخارجة منها والداخلة إليها) خطية (تسبب تغير في الاتساع أو الطور أوكلاهما ولكن لا تسبب تغير في التردد). ويقسم بدوره إلى قسمين:

أ. تشويه ترددي Frequency Distortion : هو التغير في الاتساعات النسبية لمكونات الطيف الترددي Spectrum للموجة المرسلة (وليس في قيمة التردد نفسه). وكما ذكر سابقا فان قيمة الاتساعات النسبية لمكونات الطيف التردد للموجة المعدلة ترددياً FM يساوي اقترانات بيسيل $J_n(m_f)$.

ب.تشويه تأخيري Delay : والذي ينتج عن التغير في وقت التراسل أوالتأخير لمكونات الطيف التردد المختلفة أي تغير في الطور Phase (Shift

والتشويه الخطي يمكن معالجته في المستقبلة Receiver بإضافة معادل Equalizer له خصائص انتقالية تعادل تأثير قناة الإرسال من حيث الاتساع (الربح) أو الطور (وهما العاملان اللذان يتأثران بالتشويه الخطي. فمثلا لو تسبب قناة الاتصال بتغيير في الاتساعات النسبية لمكونات الطيف الترددي Spectrum للموجة المرسلة بقيمة -2dB فعلى المعادل أن يعطي ربح بقيمة +2dB لمعادلة التغيير الحاصل. وإذا تسبب بتأخير أو فرق طور 30 درجة فعلى المعادل أن يعطي فرق طور مكافئ ولكن معادل لهذه القيمة (فرق طور سالب). وبشكل علاقة عامل فان الخصائص الانتقالية للمعادل $H_{eq}(f)$ يجب أن تكون مكافئة للخصائص الانتقالية لقناة الإرسال $H_t(f)$:

$$H_{eq}(f) = 1/ H_t(f)$$

يسبب التشويه الخطي خصائص غير مثالية للاتساع أو الطور أوكليهما مما قد يؤدي إلى تداخل الإشارات المتجاورة في ما بينها (تداخل كلي).

2. تشويه غير خطي Non-Linear Distortion : ينشأ هذا التشويه عن دوائر ذات خصائص انتقالية (أو منحنى استجابة) غير خطية، (أي أن علاقة الإشارة الخارجة من الدائرة لا تتناسب بشكل مباشر مع الإشارة الداخلة منها) فقد تحتوي الإشارة الخارجة على ترددات مختلفة عن الترددات الموجودة في الإشارة الداخلة، ومن الأمثلة على ذلك المازج المستخدم في عملية التعديل.

وبالرغم من أن تصحيح هذا التشويه أمر أكثر تعقيدا مما هو في التشويه الخطي، إلا انه بالإمكان تصحيح جزء من التشويه الغير خطي بمعادل مكمل Complementary Equalizer.

ان تأثير عدم الخطية على الاتساعات الكبيرة كبير بينما ليس لها تأثير على الاتساعات القليلة. أما تأثيرها على التردد فكما ذكر سابقا أنه يسبب ظهور مكونات ترددية لم تكن موجودة في الموجة الأصلية. وان لم يكن تشويه الإشارة السبب الوحيد لظهور مكونات جديدة في الطيف الترددي للموجة المرسلة، فقد يحدث ذلك نتيجة تداخل الإشارات المتجاورة مع بعضها البعض.

3-4 تداخل التعديل Inter-modulation

تداخل التعديل هو نوع من التشويه الغير خطي والغير مرغوب فيه الذي ينتج نتيجة مزج الإشارات في دوائر لها خصائص انتقالية غير خطية في النظام (كالمعدل Modulator). ويزداد نتيجة:

1. زيادة الحمل Over Load.

2. زيادة مستوى حزمة النطاق الأساسي الداخلة إلى النظام.

4-4 الخفوت Attenuation

الخفوت Attenuation : هو انخفاض يحدث في مستوى الإشارة نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب التالية:

1. خفوت التداخل: بسلوك الموجة المرسلة عدة مسارات سينتج عدد من الموجات ذات الأطوار Phases المختلفة. وبتداخل هذه الموجات يحدث إضعاف لمستوى الموجة المستلمة عند هوائي المستقبلة. وقد تحدث عدة انعكاسات للموجة المرسلة لتنتج إشارة بخسارة متغيرة ويعد النظام في هذه الحالة انه يعاني من خفوت متعدد المسارات.
2. خفوت القدرة Power Fading ويحدث هذا النوع من الخفوت Fading في ظروف جوية غير اعتيادية وتكون شدة الخفوت أقل.
3. الامتصاص الجوي Atmospheric Absorption. والذي يحدث نتيجة للمطار والثلج ويكون تأثيره كبير جدا في الترددات الميكروية العالية، ويكون الخفوت في الإشارة عند التردد 7 GHz تكون قليلة نسبيا، ويزداد الخفوت (التوهين) Attenuation بازدياد التردد حتى يصبح حاد عند تردد 12 GHz.

5-4 عطل المسار الميكروي

ترسل الإشارة من المرسلة Transmitter بقدرة عالية لغرض ضمان وصولها بشكل واضح و"مفهوم" من قبل المستقبلة Receiver. وتتعرض الموجة بعد إرسالها في الفراغ الخارجي إلى فقد Losses، وتعتمد قيمة هذا الفقد

على التردد المستخدم في الإرسال وقطر الهوائي ووفقا لقانون الفقد الخارجي F.S.L (الذي تم شرحه سابقا) يمكن حسابه على النحو التالي:

$$F.S.L = -10 \, Log[(c / 4\pi * f * D)^2]$$
$$= - 147.5 + 20 \, Log(f) + 20 Log(D) \qquad dB$$

وبما أن القدرة المرسلة ذات قيمة محددة ومعلومة P_t وفقد الفراغ ممكن حسابه، فبالتالي يمكن حساب القدرة المستقبلة P_r عند هوائي الطرف الثاني من العلاقة:

$$G = 10 \, Log[P_r/P_t]$$
$$= - F.S.L$$

وهناك عوامل أخرى تزيد من الخسارة في القدرة المرسلة مثل الظروف الجوية السيئة. ويجب على المرسل أن يحسب قيمة الإشارة المرسلة بحيث يكون مستوى الإشارة المستقبلة مناسب لتمييز الإشارة عن التشويش المصاحب. فنتيجة الفقد العالي يمكن أن يكون مستوى الإشارة المستقبلة منخفض للحد الذي لا تستطيع فيه المستقبلة كشفها، وتسمى قدرة الإشارة المستقبلة التي تصنف إلى هذا المستوى بقيمة الإخماد. وفي هذه الحالة تفهم قيمة الإشارة المستقبلة على أنها صفر (غير موجودة) وبالتالي لا يتم استخلاص حزمة النطاق الأساسي من الإشارة المرسلة خلال المستقبلة، مما يسبب عطل في المسار فلا يتم الاتصال بين القنوات التليفونية (فشل في القنوات التليفونية). كما ستختفي نغمة التنبيه المصاحبة وبالتالي تقطع الكثير من المكالمات التليفونية. وبما أن غالبية الاتصالات ستؤسس ثانية وفي آن واحد تقريبا عند استدراك العطل، فمن المتوقع حدوث ضغط على الخطوط ويسبب ذلك ازدحام صناعي Artificial Congestion. في المقسم.

ولا يقتصر تأثير هذا العطل على القنوات التليفونية فقط، فهي تؤثر أيضا على كل من الخدمة التلغرافية والتليفونية ففي الخدمة التلغرافية يمكن أن

يسبب هذا العطل خطأ في الطباعة أو عدم كتابة حرف أو أكثر في الكلمة (misprint).

أما بالنسبة للقنوات التليفزيونية فتسبب هذه الأعطال رؤية غير واضحة أو انقطاع الصورة ولو لفترات زمنية قصيرة. ومن الضروري معالجة هذه الأعطال بمجرد ظهورها.

4-6 خفوت المسار الميكروي

إذا كانت قيمة الإشارة المستقبلة دون مستوى الإخماد، ينتج حالة العطل الكلي التي تستمر لفترة زمنية قصيرة. ولكن لا يعني أن تكون قيمة الإشارة المستقبلة أعلى من مستوى الإخماد عدم ظهور الأعطال. فقد يحدث ان تكون قيمة الإشارة المستقبلة أكبر من مستوى الإخماد ولكنها في الوقت نفسه أقل من القيمة المطلوبة للإشارة في الحالة الاعتيادية (تكون إشارة خافتة). وفي هذه الحالة لا يحدث عطل كلي للمسار، وإنما يتسبب ذلك في حدوث عطل جزئي يستمر لفترات طويلة.

وفي حالة حدوث ذلك فان التشويش الحراري Thermal Noise يزداد بزيادة الهبوط في الإشارة. فكل هبوط بقيمة 1 dB لمستوى الإشارة يقابله زيادة 1 dB في التشويش الحراري، ويمكن معرفة القيمة الجديدة للتشويش الحراري من القيمة السابقة وقيمة الزيادة على النحو التالي:

$$In = 10 \, Log[N_2/N_1]$$

حيث:

In : مقدار الزيادة في التشويش الحراري والمساوية لقيمة الهبوط في الإشارة بوحدة dB.

N_1: قيمة (قدرة) التشويش الحراري قبل الزيادة.

N_2: قيمة (قدرة) التشويش الحراري بعد الزيادة.

ومن الخطير في نظام متعدد القفزات (محطات الإعادة والتقوية والمتماثلة) ان قيمة الزيادة في التشويش الحراري تتناسب طرديا وبشكل مباشر مع عدد القفزات (n) :

$$In \propto n$$

وبالتالي تتراكم وتزيد قيمة التشويش مع كل محطة تقوية تالية، فلا بد من طريقة للتغلب على النوع من الخفوت. وإذا حدث ان كانت قيمة الفقد في المسار عالية جدا (أكثر من 6 dB بكثير) يؤدي ذلك إلى ارتفاع نسبة التشويش بشكل كبير، وان تتمكنا من استخلاص إشارة حزمة النطاق الأساسي من المعدل العكسي للمستقبلة فان ذلك لن يمنع أن تكون متقلة بالتشويش. ولا بد من إيجاد حل لهذا التشويش.

مثال1: كم مرة تكبر قيمة التشويش الحراري Thermal Noise إذا حدث خفوت للإشارة بمقدار 6 dB موزعة خلال ساعة زمنية ؟

الحل:

ان مقدار الزيادة في التشويش الحراري والمساوية لقيمة الهبوط في الإشارة وبالتالي تساوي 6 dB ، وذلك يمكن التعويض في العلاقة السابقة لحساب نسبة التكبير مباشرة:

$$In = 10\ Log[N_2/N_1]$$
$$6 = 10\ Log[N_2/N_1]$$
$$N_2/N_1 = Log^{-1}[0.6] = 4$$
$$N_2 = 4N_1$$

أي أن خفوت الإشارة بمقدار 6 dB تسببت أي أن خفوت الإشارة بمقدار 6 dB تسببت بزيادة قيمة التشويش الحراري 4 مرات عن القيمة الحرارية الاعتيادية.

مثال2: إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في إحدى محطات الإعادة (القفزة) تساوي 6 dB، فما نسبة الزيادة في التشويش لأربعة قفزات متتالية في ذلك النظام؟

الحل:

ان قيمة الزيادة في التشويش الحراري تتناسب طرديا وبشكل مباشر مع عدد القفزات (n) :

$$In \alpha n$$

وبالتالي إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في القفزة الواحدة تساوي 6 dB، فان الزيادة المتراكمة في 4 قفزات تساوي:

$$In = 4 * 6 = 24 \text{ dB}$$

وبالتالي يمكن حساب النسبة كما في المثال السابق على النحو التالي:

$$In = 10 \text{ Log}[N_2/N_1]$$

$$24 = 10 \text{ Log}[N_2/N_1]$$

$$N_2/N_1 = \text{Log}^{-1}[2.4] =$$

$$N_2 = 4N_1$$

أي ان نسبة التشويش تضاعفت في الأربعة قفزات نتيجة زيادة قيمة التشويش الحراري 4 مرات عن القيمة الحرارية الاعتيادية في القفزة الواحدة.

7-4 أعطال الأجهزة وأسبابها وطرق الكشف عنها

بماذا تفكر إذا لم كانت الحرارة مقطوعة في التليفون؟ قد تظن أن أحد الأسلاك غير موصول، فإذا لم يكن الحال كذلك قد تفكر أن الجهاز معطل، فإذا لم يكن الحال كذلك قد تفكر أن القطع من الأسلاك الرئيسية في الشارع، فإذا لم يكن الحال كذلك نتوقع ان القطع من شركة الاتصال. المقصود من كل هذا، أنك

كشفت عن حالة العطل في النظام وبدأت البحث عن السبب لإيجاد الحل الذي يتناسب مع سبب العطل.

وما نطلق عليه عطل الأجهزة نقصد به في حقيقة الأمر أي ضعف في أداء نظام الاتصال. وينتج هذا الضعف في الأداء لأسباب مختلفة، فقد تنتج عن:

1. حالة انتشار الموجة (خفوت المسار) : فقد يسبب الخفوت العالي للإشارة وهبوطها إلى مستوى الإخماد (أو أعلى منه بقليل) إلى عطل تام أو جزئي للنظام، لا بد في هذه الحالة من رفع الإشارة إلى المستوى القياسي المطلوب. أعطال الأجهزة في دائرة الإرسال أو الاستقبال بالرغم من الانتشار الجيد للموجة المرسلة.

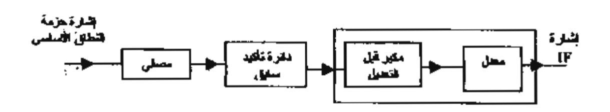
ويتم عمل صيانة دورية كل فترة لهذه الأجهزة للتأكد من أدائها بشكل سليم، وان كان من المتوقع أن يقل الأداء قبل موعد الصيانة التالي (بسبب استخدام الأجهزة بشكل مستمر لتلك الفترة).ومع ان هبوط أداء الأجهزة يكون في حدود معينة إلا أنه قد يحدث هبوط في أداء أحد أو بعض الأجهزة بشكل أكبر من تلك الحدود المتوقعة. والأجهزة المهمة غالبا ما يتم عمل صيانة دورية سنوية لها.

قد يحدث العطل في أي مرحلة سواء الإرسال أو الاستقبال. ويجب معالجة العطل وفقا لسببه على النحو التالي:

أ. هبوط قدرة الإشارة المرسلة بقيمة 3 dB : المستوى القياسي المطلق الذي يجب أن ترسل به الإشارة هو من $40\ dB_m$ إلى $427\ dB_m$ لضمان استلام إشارة مستقبلة في مستوى أعلى من مستوى الإخماد بشكل ملحوظ. فإذا حدث هبوط في أي مرحلة للإشارة المرسلة فان هبوط مقابل مساويا له سيحدث للإشارة المستقبلة كما أن زيادة كبيرة ستحدث في التشويش. ولذلك

يجب أن تبقى قدرة الإشارة المرسلة تحت المراقبة بشكل دائم للكشف الفوري عن أي هبوط للقدرة. وتتم هذه المراقبة بقراءة مستمرة لقيمة الإشارة على جهاز قياس Ammeter وفي حالة قراءة في هبوط المستوى بقيمة 3 dB تعطي الدوائر اللاحقة تنبيه.

2. هبوط في قدرة الإشارة المستقبلة: من الممكن ان يحدث الهبوط في الإشارة المستقبلة في أي من مراحل التكبير المختلفة (سواء مرحلة التكبير الأولي RF أو مرحلة التكبير للموجة المتوسطة IF المتصلتان بمكبر الربح الآلي AGC أو مرحلة التكبير لحزمة النطاق الأساسي)، كما يمكن ان يحدث الهبوط في مستوى الإشارة المستقبلة في أي مرحلة من مراحل التعديل Modulation أو التعديل العكسي Demodulation كما هو موضح في الشكل التالي:



ويتم الكشف عن العطل في هذه الحالة من خلال عملية التضبيط الابتدائي التي تتضمن وضع المفاتيح المختلفة بحيث تعطي نغمة فحص تردد واحد انحراف قيمته 200 KHz، وفي حال حدوث ضعف في الأداء بعد عدة أشهر من الفحص فلن تساوي قيمة الإزاحة قيمة 200 KHz. فمثلا في حالة ضعف الأداء بحيث كانت القيمة 50 KHz عوضا عن 200 KHz فان مستوى حزمة النطاق الأساسي الناتجة من عملية التعديل العكسي ستكون أقل من المستوى العادي بقيمة 12 dB، وهو مستوى متدن

غير مقبول للإشارة. ويتم معالجة هذا الهبوط 12 dB بواسطة تكبير الإشارة بمكبر الربح الآلي AGC الذي يعادله بتكبير بقيمة 12 dB، ولكن ذلك يكون مصاحب بتكبير التشويش بنفس القيمة (12 dB) مما يجعل منها قيمة ملحوظة في حزمة النطاق الأساسي عند مخرج المعدل العكسي. وبشكل عام فان ضعف الأداء أو هبوط الإشارة في دوائر التعديل العكسي يؤدي إلى ظهور واضح للتشويش.

3. الحمل الزائد Over Load : حالة الحمل الزائد تحدث في الأنظمة المختلفة (أي حتى في غير أنظمة الاتصالات، فازدحام السير في الشوارع لا يحدث طوال الوقت وإنما في أيام معينة وفي ساعات معينة من تلك الأيام). وفي ما يتعلق بالهواتف فان كل قناة راديوية تحمل 300 أو 960 أو 1800 قناة صوتية، وليس بالضرورة أن تعمل كل هذه القنوات في آن واحد ولكن في تحدث فترة "ازدحام" للقنوات غالبا مرتين خلال أوقات معينة في اليوم وتدوم ساعة أو اثنتين. وفي هذه الفترة تعمل كل أو جميع هذه القنوات (تحمل كلام أو نغمات التنبيه).

وعندما يقال أن حزمة النطاق الأساسي مشغولة كليا (Full Loaded) فان أجهزة الميكروويف ستسهم في نوعين من التشويش:

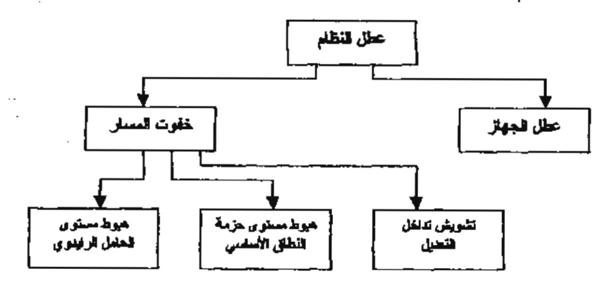
1. التشويش الحراري Thermal Noise: قد يزداد هذا التشويش خلال ساعات العمل الكامل Busy Period (أو الأوقات الأخرى) بشكل مؤثر ليس على النظام فقط وإنما أيضا على باقي الأنظمة المتصلة به.

2. تشويش تداخل التعديل Inter- Modulation Noise : ويزداد هذا التشويش بزيادة الحمل وزيادة مستوى حزمة النطاق الأساسي الداخلة إلى المعدل.

ويتم تصميم الأجهزة بحيث تبقى قيمة هذان النوعين من التشويش ضمن الحدود المقبولة، ولكن بعد كل دورة صيانة للأجهزة (وقبل موعد الصيانة التالية) ينخفض أداءها ويزداد مستوى التشويش عن المفروض.

كشف وتحديد العطل Fault Location

لكل جزء من أجزاء النظام (سواء في المرسلة أو المستقبلة) معايير قياسية محددة يجب أن تحقق. وان أي هبوط في الإشارة أو ضعف في أداء النظام يؤول دون هذه المقاييس والمواصفات المعيارية. وعلى اختلاف الأعطال نفسها أو أسبابها يمكن تقسيم نوعية الأعطال في النظام وفق المخطط التالي إلى ثلاثة أقسام مستقلة:



ومن هذا المخطط يلاحظ أن هذه الأجزاء المستقلة هي:

1. الهبوط في مستوى الإشارة الميكروية RF أو الموجة المتوسطة IF الداخلة إلى مكبر IF ذو ضابط الربح الآلي Automatic Control Gain (AGC).

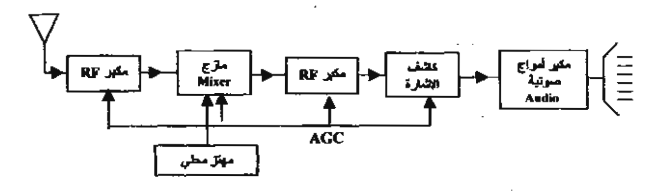
2. الهبوط في مستوى حزمة النطاق الأساسي المستقبلة (الخارجة من المعدل العكسي De-Modulator).

3. زيادة مستوى تشويش تداخل التعديل في الأجهزة.

ولكل عطل يحدث في النظام توجد طريقة خاصة للتعامل له وتحديد موقعه بالضبط وأسلوب معين لمعالجته Fixing.

1-7-4 هبوط مستوى الإشارة الراديوية المستقبلة

أولا لا بد من توضيح المخطط الصندوقي للمرسلة لتعيين الدوائر المرتبطة بالإشارة الراديوية RF، والإشارة المتوسطة IF وأخذ صورة مبدئية عن عمل تلك الدوائر:



حيث تدخل الإشارة الراديوية إلى مكبر RF ، وبعد المازج نحصل على الموجة المتوسطة التي تدخل بدورها إلى مكبر IF. ويتحكم في مستوى الإشارة في هذه المراحل بواسطة ضابط الربح الآلي AGC الذي سنوضح ماهيته وطبيعة عمله التي تساهم في حل مشكلة الخفوت في مستوى الموجة المستقبلة. وضابط الربح الآلي AGC هو الدائرة (أو مجموع الدوائر) في النظام التي تحقق كسب كلي للمستقبلة متغير بشكل أوتوماتيكي مع قوة الإشارة المستقبلة

لتحقيق إشارة خارجة من النظام قوية بشكل فعلي ثابت. وتختلف دائرة AGC باختلاف نوع التعديل المستخدم في النظام (AM أو FM).

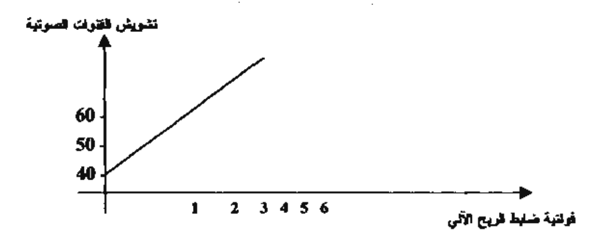
لتحديد الوضع: ما العطل؟ كيف سيتم الكشف عنه؟ كيف سيتم معالجته؟

يؤدي هبوط مستوى الإشارة الراديوية RF المستقبلة بالهوائي إلى هبوط مساو له في مستوى الموجة المتوسطة IF الداخلة إلى مكبر IF، وأي هبوط في مستوى الإشارة يؤدي أيضا إلى ارتفاع مستوى التشويش الحراري عن القيمة الاعتيادية. ويتم الكشف والمعالجة لهذه المشكلة بواسطة ضابط الربح الآلي AGC. فتتناسب فولتية AGC (المقرومة على جهاز قياس Ammeter) مع الإشارة المستقبلة تناسبا طرديا على النحو التالي:

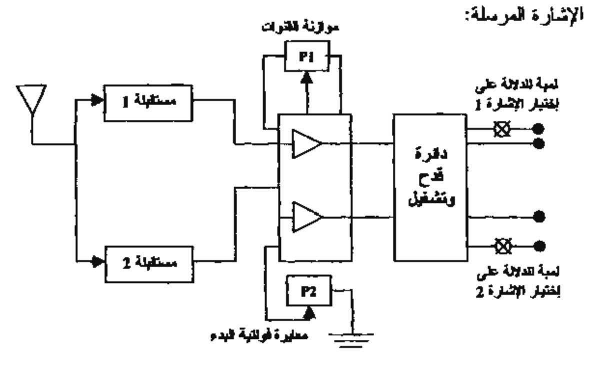
أ. كلما ازداد مستوى الإشارة المستقبلة قل مستوى التشويش وزادت فولتية AGC بحيث تكون قراءة فولتية AGC عند أقصى قيمة لها عندما يصل مستوى التشويش إلى أدنى مستوى له.

ب. كلما انخفض مستوى الإشارة المستقبلة ازداد مستوى التشويش وانخفضت فولتية AGC بحيث تكون قراءة فولتية AGC عند أدنى قيمة لها عندما يصل مستوى التشويش إلى أعلى مستوى له ويعطى تنبيه لباقي النظام في حال حدوث ذلك حيث يكون مستوى الإشارة المستقبلة مساو للصفر. وتستعمل فولتية AGC للدلالة على ارتفاع مستوى التشويش من 3 dB إلى 10 dB عادة.

والعلاقة بين مستوى التشويش في القنوات الصوتية وفولتية ضابط الربح الآلي موضحة في الشكل التالي:



ويتم رفع مستوى الإشارة للمستقبلة بما يتناسب مع الهبوط لتحقيق مستوى ثابت عند المكبر. وبالإمكان استخدام الطريقة الموضحة في المخطط الصندوقي Block Diagram التالي للكشف عن الهبوط العالي لمستوى الإشارة المرسلة:



حيث يتم استخدام دائرتي استقبال عوضا عن واحدة فقط حيث يعطي الفرق بين قيمتي فولتية AGC مؤشر إلى المستقبلة ذات مستوى التشويش الأقل. حيث يوجد لكل مستقبلة مراقب لمستوى التشويش وبناء على ذلك

المستوى تتغير قيمة مقاومة الموازنة المتغيرة Potentiometer . حيث تدخل فولتيتي AGC على دائرة مكبر تفاضلي، وعندما تتساوى الاثنتين تعاير المقاومة P_1 للتأكد من عدم وجود فولتية مختلفة على نقاط المراقبة. وتقوم دوائر المنطق اللاحقة بالدلالة على المستقبلة ذات الوضع الأفضل، أما المقاومة P_2 تستعمل لمعايرة الفرق بين فولتيتي AGC (أو التشويش) بحيث يتم إختيار إحدى المستقبلتين. ويسمى الفرق بين القيمتين بفولتية العتبة أو بدأ Threshold والتي توضع عند قيمة لا تقل عن 3 dB. ومن الضروري منع الاختيار بيت المستقبلتين عندما تكونا كلاهما قريبتان من حالة العطل. بينما عندما يكون ناتج فولتية AGC تقريبا متساوي للمستقبلتين فلا يتم الاختيار بينهما وتعادلان كأنهما مقبلتين

4-7-2 هبوط مستوى إشارة النطاق الأساسي

النوع الثاني من الأعطال هو هبوط مستوى إشارة النطاق الأساسي. وأيضا هنا يجب المراقبة المستمرة لمستوى هذه الإشارة للكشف عن أي عطل عند حدوثه.كيف؟

ان مستوى إشارة النطاق الأساسي نفسه يختلف باختلاف المعلومة المرسلة فلا يوجد مستوى ثابت لها كمعيار للمقارنة والكشف عن الهبوط. وفي نفس الوقت إذا فرضنا إرسال إشارتين مختلفتين تماما في ظروف معينة وخلال وسط ما فان ما تعاني منه إحدى الإشارتين من هبوط في المستوى سوف تعاني منه الأخرى وبنفس النسبة. ويمكن الاستفادة من هذه الخاصية للكشف عن هبوط مستوى إشارة النطاق الأساسي، وذلك من خلال مزج إشارة خاصة Pilot ذات مستوى قدرة معلوم مع الإشارة الأساسية المرسلة قبل عملية التعديل Modulation . ومن ثم يتم إرسال الإشارتين معا وتصلان المستقبلة وتغذيان

دائرة التعديل العكسي حيث يتم فصل إشارة Pilot عن إشارة المعلومات وتكبر ويتم فحص مستواها وتغذي دائرة تحذير من خلال مقاومة P1، وان أي هبوط أو تغيير تتعرض له هذه الإشارة فمن المتوقع أن الإشارة الأصلية قد تعرضت له أيضا. وان قيمة P1 تحدد قيمة أدنى هبوط لمستوى إشارة الدليل والذي عنده تبدأ دائرة التحذير بالعمل، وتسمى هذه القيمة بفولتية البدأ وتتراوح غالبا بين 3 dB إلى 6 dB.

أسئلة الوحدة الرابعة

س1) ما المقصود بالضجيج Noise؟

س2) ما الفرق بين التشويش Noise والتشويه Distortion؟

س3) ما المقصود بالتشويش الداخلي Internal Noise ؟

س4) ما الفرق بين التشويش الداخلي Internal والخارجي External ؟

س5) ما أنواع الضجيج الخارجي External Noise ؟

س6) مكبر يعمل في حزمة الترددات الممتدة بين 1 GHz إلى 2 GHz، له مقاومة تساوي 1 KΩ، ما قيمة فولتية الضجيج الداخلة إلى المكبر إذا كانت درجة الحرارة المئوية 29°C ؟

س7) مضخم يعمل بعرض نطاق ترددي 6 MHz له مقاومة 120Ω يعمل بدرجة حرارة 24C° وله كسب يساوي 210 ، الإشارة الداخلة تساوي $15\mu V_{rms}$، جد قيمة الإشارة الضجيج وإشارة المعلومات الخارجة من المكبر.(أهمل الضجيج الخارجي).

س8) مضخم يعمل بعرض نطاق ترددي 6 MHz له مقاومة 120Ω يعمل بدرجة حرارة 24C° وله كسب يساوي 10 dB ، الإشارة الداخلة تساوي $15\mu V_{rms}$، جد قيمة الإشارة الضجيج وإشارة المعلومات الخارجة من المكبر.(أهمل الضجيج الخارجي).

س9) إذا كانت فولتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 120mV وللضجيج تساوي 14 mV، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟

س10) إذا كانت فولتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 12mV وللضجيج تساوي 14 mV، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟

س11) إذا كانت فولتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 12mV وللضجيج تساوي 12 mV، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟

س12) إذا كانت قدرة الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 12mwatt وللضجيج تساوي 14 m watt، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟

س13) إذا كانت قدرة الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 100 m watt وللضجيج تساوي 140 m watt، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟

س14) إذا كانت نسبة S/N عند مدخل مكبر Amplifier تساوي 100، نسبة S/N عند مخرجه تساوي 60 فاحسب FN لهذا المكبر.

س15) إذا كانت نسبة S/N عند مدخل مكبر Amplifier تساوي 60، نسبة S/N عند مخرجه تساوي 100 فاحسب FN لهذا المكبر.

س16) كم مرة تكبر قيمة التشويش الحراري Thermal Noise إذا حدث خفوت للإشارة بمقدار 12 dB موزعة خلال ساعة زمنية ؟

س17) كم مرة تكبر قيمة التشويش الحراري Thermal Noise إذا حدث خفوت للإشارة بمقدار 1 dB موزعة خلال ساعة زمنية ؟

س18) إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في إحدى محطات الإعادة (القفزة) تساوي 6 dB، فما نسبة الزيادة في التشويش لخمس قفزات متتالية في ذلك النظام؟

س19) إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في إحدى محطات الإعادة (القفزة) تساوي 6 dB، فما نسبة الزيادة في التشويش لمسافة 135 Km إذا وضعت محطة تقوية كل 45 Km في ذلك النظام؟

س20) عندما تكون حزمة النطاق الأساسي مشغولة كليا (Full Loaded) فان أجهزة الميكرويف ستسهم في نوعين من التشويش، ما هما؟

س21) ما الخفوت؟ وما أسبابه؟

س22) ما المقصود بالحمل الزائد ومتى يحدث ولماذا؟

س23) ما المقصود بضابط الربح الآلي AGC ؟

س24) ما الذي يحدث في حالة ضعف الأداء بحيث كانت قيمة انحراف التردد 50 KHz عوضا عن القيمة القياسية 200 KHz ؟

س25) ما المقصود بمستوى الإخماد؟

س) ما تأثير هبوط مستوى الإشارة المستقبلة دون مستوى الإخماد في كل من الأنظمة التالية:

1. شبكة الهواتف.
2. القنوات التليفزيونية.
3. الإشارات التلغرافية.

س26) ما قيمة المستوى القياسي المطلق الذي يجب أن تكن عليه الإشارة المرسلة ؟

س27) ماذا يسمى العطل الناتج (كلي أم جزئي) عن استقبال إشارة:

أ. مستواها دون مستوى الإخماد.

ب. مستواها أعلى بقليل فقط من مستوى الإخماد.

س28) كيف يصنف العطل في السؤال السابق (قصير أم طويل الأمد)؟

س29) ما الأجزاء المستقلة التي تسبب أعطال النظام؟

س30) ما العطل الناتج عن هبوط الإشارة للراديوية المستقبلة ؟ وعلى ماذا يؤثر؟

س31) ما هو ضابط الربح الآلي AGC ؟

س32) ما العلاقة بين فولتية AGC ومستوى الإشارة الراديوية المستقبلة؟

س33) ما العلاقة بين فولتية AGC ومستوى التشويش؟

س34) في ما تستخدم المقاومتين المتغيرتين P1 وP2 في عملية الكشف عن هبوط الإشارة الراديوية المستقبلة؟

س35) ما الغرض من استخدام مستقبلتين عوضا عن واحدة؟

س36) كيف يتم الكشف عن الهبوط في مستوى إشارة النطاق الأساسي؟

س37) ما هي إشارة Pilot ؟

الوحدة الخامسة



الحماية النظامية وأجهزتها

الوحدة الخامسة

الحماية النظامية وأجهزتها

5-1 أسس الحماية النظامية System Protection

ليس المقصود بحماية الأنظمة حفظها من الأعطال التي قد تحدث لها، فحدوث هذه الأعطال أمر لا يمكن التحكم به. ولكن المقصود بحماية الأنظمة كشف واستدراك العطل الحاصل، والعمل على استمرار وصول إشارة النطاق الأساسي سواء على نفس القناة الصوتية أو على قناة احتياطية.

وتتباين أسس الحماية النظامية من حيث الطريقة المتبعة للكشف عن العطل ومن حيث عدد القنوات الاحتياطية المتوفرة للعمل (أجهزة الحماية المفردة وأجهزة الحماية المتعددة) في حال حدوث العطل (أو الهبوط في الأداء) وغير ذلك.

5-2 أجهزة الحماية المفردة وأجهزة الاحتياط

من تسميتها "الحماية المفردة" نستنتج عدد قنوات الحماية المستخدمة في حال عطل في النظام. حيث تستعمل قناة حماية واحدة (مفردة) على النحو التالي:

أ. تحميل حزمة النطاق الأساسي: وتحمل على القناة الاحتياطية في حالة العطل في إحدى القنوات النظامية.

ب. تحميل نغمة الدليل Pilot : ويتم ذلك في حالة العمل الاعتيادية (لا يوجد عطل في النظام).

ونظام أجهزة الحماية المفردة يستعمل طرق مختلفة من التباين، أي المقارنة بين أكثر من إشارة مستقبلة لتحديد الأعطال (ان وجدت) وتقييم الإشارات حسب مستواها وانتقاء الأفضل منها. ومن طرق التباين المستخدمة مع أنظمة الحماية المفردة:

1. أجهزة الاحتياط.
2. تباين التردد.
3. التباين الفراغي.
4. التباين بواسطة الجمع.

وبالرغم من الاختلافات بين هذه الطرق إلا أنها تشترك بخاصية واحدة، وهي إرسال حزمة نطاق أساسي واحدة باستعمال مجموعتين متماثلتين من الأجهزة.

واستخدام أجهزة احتياطية واحدة من طرق التباين المستخدمة. فقد مر في موضوع سابق أن لكل قناة راديوية عدد من القنوات الصوتية العاملة وعدد من القنوات الاحتياطية، ويتراوح عدد قنوات الحماية بين قناة واثنتين (على حسب عرض الحزمة وعدد القنوات العاملة).

ويتم استخدام قنوات الحماية هذه إما لحمل نغمة Pilot التي سبق شرحها، أو عند حدوث عطل في أحد القنوات العاملة الأساسية يتم حمل حزمة النطاق الأساسي منها إلى قناة الحماية.

3-5 التباين الترددي Frequency Diversity

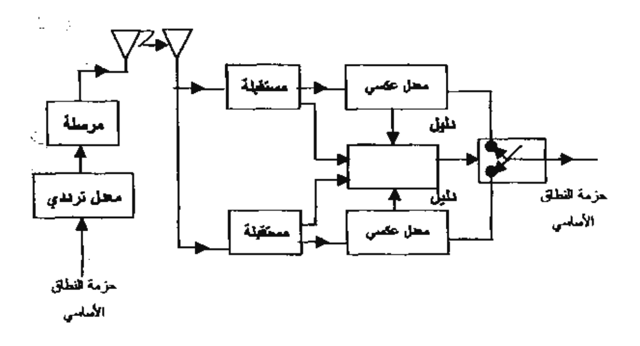
يتم تعديل حزمة النطاق الأساسي من خلال معدلين اثنين عوضا عن واحد فقط، حيث تحمل الموجة الأساسية على موجتين حاملتين لكل منهما تردد يختلف عن الأخرى. وعند الطرف الآخر من النظام يتم استقبال الإشارتين

الراديوتين الحاملتين لنفس المعلومات، ولإجراء عملية التعديل العكسي لهما لاستخلاص الإشارة المحمولة. ويتم المقارنة بين مستوى الإشارتين لتحديد الإشارة ذات المستوى الأعلى.

ففي هذا النوع من التباين تستخدم حزمة نطاق أساسي ولحدة ترسل باستعمال مجموعتين من الأجهزة المتماثلة التي تعمل على ترددين مختلفين.

4-5 التباين الفراغي Space Diversity

ويسمى أيضا بتباين الأجهزة، والمخطط الصندوقي العام لأنظمة التباين الفراغي موضح في الشكل التالي:



وكما هو واضح من المخطط فإن هذا النظام يستخدم مستقبلتين مستقلتين يفصل بينهما مسافة معينة (ولذلك تسمى هذه الطريقة بتباين الأجهزة أيضا)، ولكل مستقبلة هوائي خاص بها من نفس نوع وحجم ومواصفات وتصميم هوائي المستقبلة الثانية. وقد يوضع إحدى الهوائيين على ارتفاع مختلف

عن ارتفاع الهوائي الآخر. وكما ذكر سابقا فان محصلة الإشارات عند الهوائي (الإشارة المباشرة والإشارة المنعكسة) يغير بتغير ارتفاع الهوائي أو بعدها عن المرسل. وبالتالي فان مستوى الإشارة المستقبلة بإحدى الهوائيين يختلف عن مستوى الإشارة المستقبلة بالهوائي الآخر. وتدخل كل إشارة إلى معدل عكسي منفصل ثم تقارن الإشارتين الناتجتين من خلال مقارنة إشارة الدليل المرافقة لكل واحدة (فكما سبق ذكره ان الهبوط في مستوى إشارة الدليل Pilot يعطي انطباع عن الهبوط في مستوى حزمة النطاق الأساسي)، ويحدث التالي:

1. إذا كان مستوى إحدى الإشارتين منخفض جدا عن الأخرى يتم انتقاء الإشارة الأقوى.
2. إذا كان مستوى الإشارتين متقارب يتم جمعهما معا للحصول على موجة أقوى.

ان كلتا الإشارتين مرسلتين على نفس التردد، مما يعطي ميزة لطريقة التباين الفراغي خاصة مع شدة الطلب على الترددات. كما ان معايرة ارتفاع الهوائيان يعطي وسيلة للتعويض عن الاختلاف في المسارين (المباشر والمنعكس).

ان المسافة التي تفصل بين الهوائيين ليست عشوائية وإنما يجب حسابها لتحقيق الوضع الأمثل لطريقة التباين الفراغي. ويتحقق هذا الوضع المثالي بوضع الهوائيين بفاصل يساوي:

$$S = 3\, \lambda\, R/D$$

حيث:

S : المسافة الفاصلة بين الهوائيين بوحدة المتر.

R: قطر الأرض الفعال بوحدة المتر.

λ: طول الموجة بوحدة المتر.

D: قطر الهوائي المستخدم بوحدة المتر.

وعادة ما تعد مسافة λ 200 مسافة مقنعة، والهدف من نظام التباين الفراغي هو جعل الفاصل بين هوائيات التباين بحيث تنتشر الموجة المنعكسة مسافة أطول من المسار العادي لها. وعادة ما تستعمل طريقة التباين الفراغي مع أنظمة الاتصالات الثابتة غير المتحركة، وهذا أمر منطقي حيث يتم حساب المسافة بين هوائيي المستقبلتين وتثبيتهم بناء على ذلك.

ويمكن تلخيص مميزات نظام التباين الفراغي بالنقاط التالية:

1. لا حاجة لاستخدام ترددات عدة .
2. تعتمد الفعالية على المسافة بين الهوائيين.
3. الخفوت المتعدد لن يحدث بشكل متزامن في الهوائيين، وإشارة قوية بشكل كافي سوف ينتج عن إحدى المستقبلتين.
4. استعمال هوائيين على ارتفاعات مختلفة يعطي وسيلة للتعويض عن التغير في المسار الكهربائي بين المسارين المباشر والمنعكس بتفضيل الإشارة الأقوى.

مثال1: ما المسافة الفاصلة بين هوائيي نظام التباين الفراغي الذي يستخدم تردد إرسال يساوي 3 GHz ؟

الحل:

أولا يجب حساب الطول الموجي للإشارة حسب العلاقة:

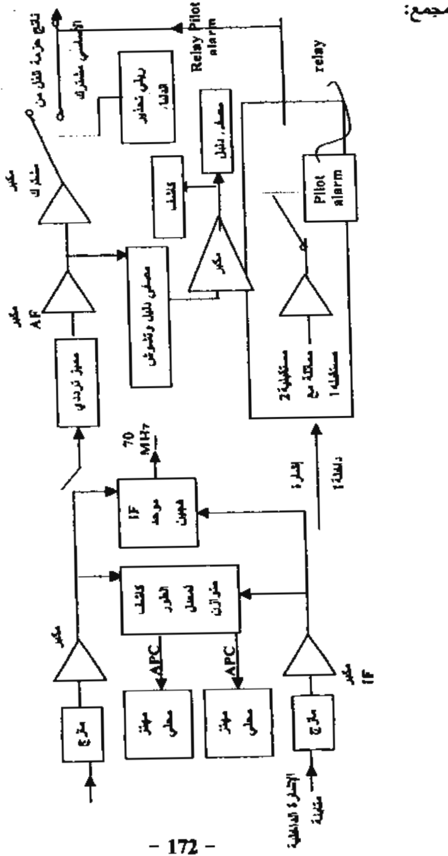
$$\lambda = c/f$$
$$= 3*10^8/3*10^9 = 0.1\text{m}$$

وحيث غالبا ما تعد مسافة λ 200 مسافة مقنعة، فقيمتها تساوي:

$$S = 200\,\lambda$$
$$= 200 * 0.1 = 20\text{ m}$$

5-5 التباين بواسطة المجمع Combiner Diversity

الشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي الكامل لنظام التباين بواسطة المجمع:



وكما هو واضح في المخطط الصندوقي، ففي هذا النظام أيضا توجد مستقبلتين (أو أكثر) عوضا عن مستقبلة واحدة. ومبدأ عمل هذا النظام يرتكز على استقبال إشارتين متباينتين (أو أكثر) وجمعهم بالصيغة التي تضمن الحصول منهم على موجة أقوى (بالتقليل أو التخلص من فرق الطور بين الإشارتين قبل جمعهما)، وفي حالة ضعف إشارة بشكل كبير عن الأخرى يتم انتقاء الإشارة الأقوى.

واستنادا إلى مرحلة الجمع في دائرة الاستقبال يتم تصنيف التباين بواسطة المجمع غالبا إلى صنفين،هما:

أ. الكشف الأولي Pre-Detection : كما هو موضح في المخطط الصندوقي، يتم التقاط الإشارة بأكثر من دائرة استقبال ومن ثم مزجها بإشارة المهتز لتحويلها إلى تردد أدنى (الموجة المتوسطة) وبعد ذلك تكبيرها بمكبر IF. يتم التحكم بالطور بواسطة Automatic Phase Control (APC). وفي مرحلة الكشف الأولي يتم جمع الإشارات في مرحلة الأمواج المتوسطة IF للحصول على قوية.

ب. الكشف المتأخر Post- Detection : تعدل الموجة المتوسطة تعديل عكسي لاستخلاص وفصل إشارتي الدليل وحزمة النطاق الأساسي. وفي الكشف المتأخر جمع الإشارتين في مرحلة حزمة النطاق الأساسي.

وتوجد أنواع عدة من المجمعات المستخدمة في أنظمة قياس القنوات الراديوية، هي:

1. التجميع الاختياري.
2. مجمع الربح المتساوي.
3. مجمع النسبة العظمى.

6-5 أجهزة الحماية المتعددة

ما يحدث في أنظمة الحماية المفردة هو إرسال حزمة نطاق أساسي واحدة فقط على تردد واحد أو ترددين باستخدام مجموعتين متماثلتين من الأجهزة يتم استرداد هذه الحزمة بأي من طرق التباين السابق ذكرها.

أما في أنظمة الحماية المتعددة فما يحدث هو إرسال أكثر من حزمة نطاق أساسي واحدة (حزمة نطاق أساسي للتليفون وأخرى للتلفزيون)، ولابد من توفر قناة حماية للعمل (نقل حزمة النطاق الأساسي) في حال عطل القناة التليفونية أو التلفزيونية. وفي هذه الحالة تكون قناة الحماية مشتركة لكلتا القناتين في حال حدوث عطل أو هبوط في مستوى الأداء لأي منهما.

لقد تم شرح توزيع الحزم الترددية واستخداماتها في وحدة سابقة، بحيث تستخدم كل حزمة ترددية لغرض أو أغراض معينة من التراسل. وتقسم الحزمة الترددية إلى عدد من القنوات الراديوية العاملة التي تحمل بدورها عدد من القنوات الصوتية، ويخصص عدد من قنوات الحماية لكل حزمة ترددية (قناة أو قناتين للحماية لكل حزمة)، حيث تحويل القناة إلى إحدى قنوات الحماية في حال حدوث عطل أو هبوط في أداء أي من القنوات العاملة الأساسية.وهذا يؤدي إلى توفير في الترددات المستخدمة.

وليس من الضروري ان تكون عدد قنوات الحماية مساوية لعدد القنوات العاملة، فمن غير الطبيعي أو المتوقع أن تتعطل 8 أو10 قنوات عاملة في نفس الوقت، ولذلك فان قناة أو قناتي حماية تكون كافية لعدد من القنوات العاملة. فعندما نريد الاحتفاظ بأجهزة هواتف احتياطية لشركة فلا حاجة لعدد مساوي من الهواتف العاملة ، وإنما جهاز أو اثنين احتياطيين سيفيان بالغرض باستبدال أي جهاز يتعرض لعطل ما.

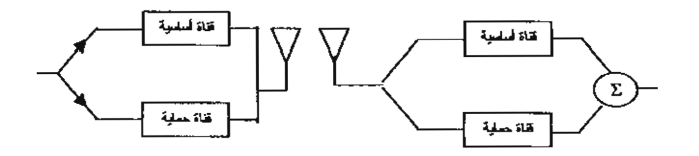
ان توزيع الحزم الترددية لأنظمة التليفون والتلفزيون (وغيرها) تم سرده في مواضيع سابقة، والحزم التالية تؤخذ كتوضيح للاستعمالات النموذجية فقط:

مدى الترددات	عدد القنوات الراديوية	عدد القنوات العاملة	عدد قنوات الحماية
3.7-4.2 GHz	6	5	1
5.9-6.4 GHz	8	6	2
6.4-7.1 GHZ	8	6	2

يلاحظ من الجدول أن عدد قنوات الحماية يتراوح بين قناة واحدة وقناتين بما يتناسب مع عدد القنوات العاملة.

7-5 الاتصالات بين الأطراف Between Terminals

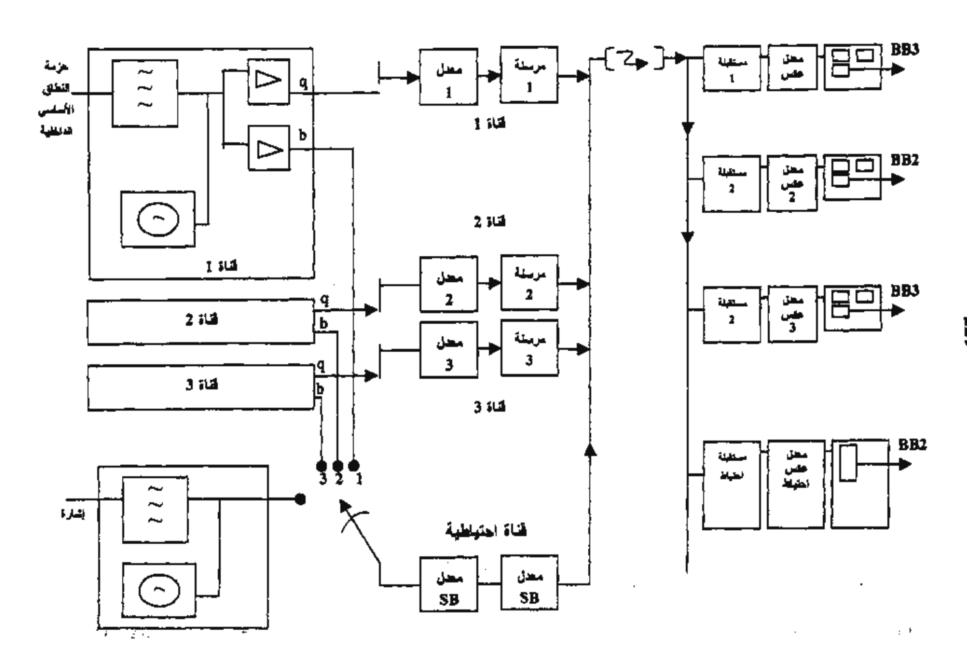
عند التعامل مع قناة عاملة واحدة تحمل حزمة النطاق الأساسي، فوجود قناة حماية لها لا يستدعي وجود مفتاح تحويل (غلق وفتح) ، فالشكل التالي يوضح أسلوب الربط بين القناة الأساسية وقناة الحماية:



في المستقبلة يتم تعديل الإشارة وانشطارها "ان جاز التعبير" وربط أحد الناتجين مع القناة الأساسية العاملة والناتج الآخر مع القناة الاحتياطية. فحجز قناة الحماية لا يشكل أي مشكلة يحدث لا يوجد قناة حزمة نطاق أساسي لأخرى

تشارك بها. وذات الفكرة تنطبق على الطرف الثاني من نظام الاتصال ،أي جهة المستقبل حيث توصل الموجة المستقبلة إلى قناة الحماية والقناة الأساسية.

أما بما يختص بالقنوات الراديوية ذات قناة الحماية (أو قناتي الحماية) المشتركة، فلا بد من استخدام دائرة فتح وإغلاق Switch، لتمكين أي إشارة مرسلة (أو مستقبلة) على إحدى القنوات العاملة من تحويلها إلى قناة الحماية في حال حدوث عطل أو هبوط في أداء القناة، والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لأسلوب عمل قناة حماية مشتركة لعدد من القنوات العاملة:



حزمة النطاق الأساسي الداخلية
قناة 1
قناة 2
قناة 3
q
b
1 2 3
إشارة
معدل 1
مرسلة 1
معدل 2
مرسلة 2
معدل 3
مرسلة 3
قناة احتياطية
معدل SB
معدل SB
مستقبلة 1
معدل عكس
BB3
مستقبلة 2
معدل عكس 2
BB2
مستقبلة 2
معدل عكس 3
BB3
مستقبلة احتياط
معدل عكس احتياط
BB2

حيث يوضح الشكل كيفية الربط بين ثلاث قنوات عاملة وقناة حماية مشتركة. ففي الجزء الخاص بالإرسال فكل موجة حزمة نطاق أساسي تمزج مع إشارة Pilot وتعدل، ثم تتفرع إلى فرعين أحدهما يوصل مباشرة مع القناة العاملة الرئيسية، والأخرى على مفتاح تحويل Transmitter Switch (TS) الذي عمل على ربط أي من القنوات العاملة إلى القناة الاحتياطية في حالة الأعطال.

وعلى الطرف الثاني (المستقبلة)، تتم نفس الإجراءات السابقة، حيث توصل الإشارة المستقبلة بعد انشطارها إلى نقطتين، الأولى تمثل القناة العاملة الرئيسية، والثانية عبارة عن مفتاح تحويل Receiver Switch (RS)الذي عمل على ربط أي من القنوات العاملة إلى القناة الاحتياطية في حالة الأعطال.

وفي حال استعمال قناة احتياطية واحدة فهذا يعني إمكانية تحويل إشارة نطاق أساسي واحدة فقط عند حدوث عطل في القناة الرئيسية، فإذا ما حدث تعطلين في قناتين رئيسيتين في نفس الوقت فلا يمكن تدارك العطل الثاني منهما. أما بوجود قناتي حماية فيمكن تدارك تعطلين (لا أكثر).

كما أن مفتاحي التحويل (للمرسلة والمستقبلة) يعملان بشكل متزامن لخدمة نفس القناة وفي نفس الوقت في الإرسال والاستقبال.وعند حدوث عطل لا بد من عمل الصيانة الفورية المعالجة اللازمة لعودة القناة الأساسية للعمل بأسرع وقت ممكن.

8-5 أنواع الاتصالات البينية في الأطراف

ان أنواع الاتصالات البينية للنظام توصف بالرجوع له وبيان عدد قنوات العاملة وعدد قنوات الحماية فيه. وكما تم ذكره سابقا ففي أنظمة الحماية المتعددة حيث يوجد عدد محدد من قنوات الحماية فان تحويل أي من إشارات

حزمة النطاق الأساسي إلى إحدى القنوات الاحتياطية أمر يتطلب توفر عدد من المعلومات، هي:

1. عطل القناة الأساسية.
2. هبوط مستوى أداء القناة الأساسية.
3. عمل القناة بشكل عادي.

وبالتالي يكون عدد المعلومات الواجب توفرها عن كل قناة عاملة يساوي ثلاث معلومات، فيكون العدد الكلي للمعلومات التي نحتاج إليها يساوي:

عدد المعلومات = عدد القنوات العاملة في النظام * 3

هذا ما يتعلق بالمعلومات الواجب توفرها عن القنوات العاملة في النظام، ومن جهة أخرى يجب توفر معلومات متعلقة بقنوات الحماية في النظام، ففي حالة تأكد حدوث عطل في إحدى القنوات العاملة لا بد من توفر معلومة عن كل قناة حماية إذا كانت شاغرة أم حاملة لإشارة نطاق أساسي لقناة أخرى عاطلة.

فمثلا، في نظام ذو 6 قنوات عاملة وقناتين حماية A وB، فان المعلومات الخاصة بالقنوات العاملة الواجب توفرها وفقا للعلاقة السابقة يساوي= 6* 3= 18 معلومة.

ولكن لا يمثل هذا العدد كل المعلومات اللازمة، ففعليا لو حدث عطل مثلا في القناة العاملة الخامسة فلا يمكن تحويل حزمة النطاق الأساسي التابعة لها على قناة الحماية A دون التأكد من أنها شاغرة فان كانت كذلك يتم تحويل الإشارة (بواسطة محولات الفتح والغلق السابق ذكرها) وإلا يتم التحويل إلى القناة الاحتياطية B (أيضا بعد التأكد أنها شاغرة).

وهذا يجعل المعلومات المطلوبة يساوي = 18* 2= 36 معلومة.

أو كعلاقة فان عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدد قنوات الحماية.

هذا العدد سليم من الناحية النظرية، أما عمليا فان المعلومات المطلوبة التي نحتاج إليها يكون أكثر من ذلك ويختلف باختلاف النظام المستخدم.

مثال1: ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 8 قنوات عاملة وقناتي حماية احتياطيتين؟

الحل:

لكل قناة حماية يكون عدد المعلومات:

عدد المعلومات = عدد القنوات العاملة في النظام * 3

= 8 * 3 = 24 معلومة.

وبالتالي لقناتي الحماية يكون العدد الكلي المطلوب من المعلومات يساوي:

عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدد قنوات الحماية

= 24 * 2 = 48 معلومة.

مثال2: ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 6 قنوات عاملة وقناة حماية واحدة؟

الحل:

لكل قناة حماية يكون عدد المعلومات:

عدد المعلومات = عدد القنوات العاملة في النظام * 3

= 6 * 3 = 18 معلومة.

وبالتالي لقناتي الحماية يكون العدد الكلي المطلوب من المعلومات يساوي:

عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدد قنوات الحماية

= 18 * 1 = 18 معلومة.

أسئلة الوحدة الخامسة

س1) ما المقصود بأنظمة الحماية؟

س2) ما الفرق بين أنظمة الحماية المفردة أنظمة الحماية المتعددة؟

س3) كم يبلغ عدد قنوات الحماية للأنظمة المختلفة؟

س4) ما الإشارتين المحملتين على قناة الحماية المفردة؟

س5) ما طرق التباين المستخدمة مع أنظمة الحماية المفردة؟

س6) كيف يتم إرسال إشارة Pilot؟

س7) كيف تعمل أنظمة التباين الترددي؟

س8) ارسم المخطط الصندوقي لأنظمة التباين الفراغي.

س9) كيف تعمل أنظمة التباين الفراغي؟

س10) ما الذي يحدث في أنظمة التباين للفراغي إذا كانت:

1. الإشارتين متقاربتين.
2. إحدى الإشارتين تعاني هبوط في المستوى بشكل كبير.

س11) كم عدد الترددات المستخدمة في :

1. أنظمة التباين الفراغي.
2. أنظمة التباين الترددي.

س12) ما هي مميزات نظام التباين للفراغي؟

س13) ما المسافة الفاصلة بين هوائيي نظام التباين للفراغي الذي يستخدم تردد إرسال يساوي 5 GHz ؟

س14) ما المسافة الفاصلة بين هوائيي نظام التباين الفراغي الذي يستخدم تردد إرسال يساوي 1 GHz ؟

س15) ارسم المخطط الصندوقي الكامل لنظام التباين بواسطة المجمع.

س16) استنادا إلى مرحلة الجمع في دائرة الاستقبال يتم تصنيف التباين بواسطة المجمع غالبا إلى صنفين، ما هما؟

س17) ما وظيفة Automatic Phase Control (APC) ؟

س18) في أي مرحلة يتم:

1. الكشف الأولي Pre-Detection .
2. الكشف المتأخر Post- Detection.

س19) ما أنواع المجمعات المستخدمة في أنظمة قياس القنوات الراديوية ؟

س20) ارسم المخطط الذي يبين كيفية الربط بين القنوات العاملة والاحتياطية من خلال مفاتيح الفتح والإغلاق في كل من المرسلة والمستقبلة.

س21) ما الإجراءات التي يجب أن تنفذ عند حدوث عطل في أحد القنوات العاملة المشتركة مع عدد من القنوات الأخرى بقناتي حماية؟

س22) ماذا يحدث عند حدوث عطل ثاني في نظام حماية متعددة يستعمل قناة حماية واحدة؟

س23) ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 12 قناة عاملة وقناتي حماية احتياطيتين؟

س24) ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 8 قنوات عاملة وقناة حماية واحدة؟

س25) ان تحويل أي من إشارات حزمة النطاق الأساسي إلى إحدى القنوات الاحتياطية أمر يتطلب توفر عدد من المعلومات، ما هي؟

س26) عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدد قنوات الحماية.

هل هذا العدد يمثل العدد الفعلي الواجب توفره من الناحية العملية؟

الوحدة السادسة



تقنيات وخصائص أنظمة الميكرويف الرقمية

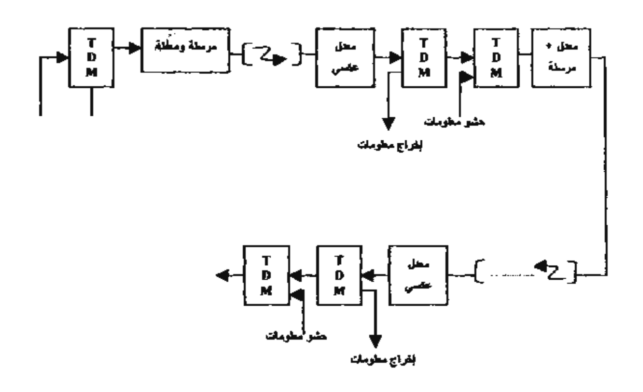
6-1 تشكيلات أنظمة الميكرويف الرقمية

Digital Micro Waves Systems

المسار الميكروي الرقمي ذو طول 2500 Km يتكون من 9 أطراف (محطات) ميكروية مربوطة خلال 9 مصفوفات من أجهزة التجميع الرقمي Time Division Multiplexing(TDM) حسب المواصفات المفروضة من CCIR. وتكون أجهزة التجميع الرقمية من درجات عليا. وفي الأنظمة الرقمية تكون البيانات عبارة عن نبضات (0,1)، ويكون معدل سيل البيانات 64 Kbit/sec، ويتم في كل مرحلة من مراحل التجميع الرقمي TDM أخذ بيانات أو إدخال بيانات، حيث تقوم المستقبلة بالتعديل العكسي والتقوية للبيانات ومن ثم تحويلها إلى أجهزة الإرسال. وعند ناتج مجدد الإشارة Re-Generator يعاد تركيب الإشارة الضعيفة بالنمط الرقمي الأعلى، وعند هذه النقطة يمكن ان يتم أخذ معلومات أو إدراج (حشو) معلومات جديدة إلى النظام، كما يمكن ربط سيل كل أجزاء المعطيات المجمعة تقاطعيا مع المعدل التالي. والحالة الأخيرة لا توجد ضرورة لوجود أجهزة TDM.

في المستقبلات والمرسلات الرقمية تحدث عمليتي التعديل والتعديل العكسي اما عند التردد الميكروي بشكل مباشر (في أنظمة التعديل المباشر) أو عند الترددات المتوسطة IF (في الأنظمة الهيترودينية).

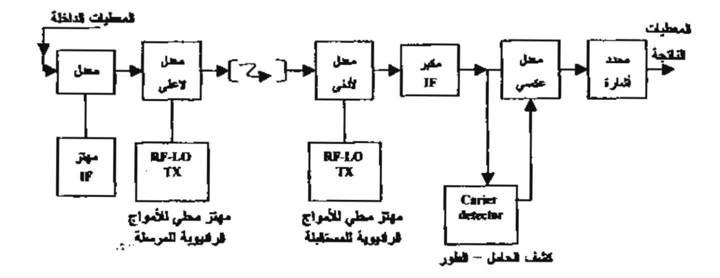
والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لمسار راديوي رقمي مفترض:



2-6 النظام الهيترودايني Heterodyne System

ان الصفة الأساسية للأنظمة الهيترودينية الرقمية (وحتى غير الرقمية) ان عملية التعديل التي تتم في المستقبلة لا تنفذ على حزمة النطاق الأساسي مباشرة وإنما على الإشارة الرقمية ذات التردد المتوسط IF، وبالتالي يتم رفع تردد حزمة النطاق الأساسي إلى تردد أعلى بواسطة المازج ومولد الترددات IF، ثم يتم مزج الإشارة الرقمية الناتجة باستخدام مولد الترددات الميكروية RF.

والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي للأنظمة الرقمية الهيترودينية:



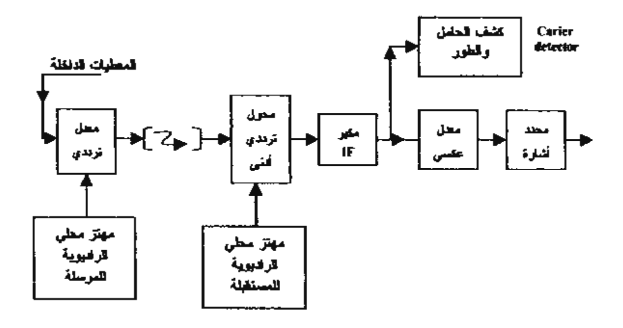
ويتضح من المخطط الصندوقي Block Diagram أن ما يحدث في المستقبلات هو عكس الخطوات التي تم تنفيذها في المرسلات. حيث يتم في المرحلة الأولى تحويل الموجة الميكروية إلى تردد أدنى (التردد المتوسط IF) وتكبير الموجة الناتجة قبل إجراء التعديل العكسي لها للحصول على الموجة الأصلية ذات التردد المنخفض. وغالبا ما يستعمل نوع التعديل العكسي المترابط Coherent De-Modulation ، وهو النوع الذي يستخدم فيه المعدل العكسي مولد تردد مساو تماما للتردد الحامل المستخدم في عملية التعديل في المرسلة، وبالإضافة إلى ضرورة تطابق التردد في المعدل العكسي مع التردد الحامل للموجة فلا بد من تطابق الطور أيضا. وأخيرا فان الإشارة المعدلة عكسيا يتم إعادة تخزينها في مجدد الإشارة بشكلها الأساسي.

3-6 نظام التعديل المباشر Direct Modulation Systems

على خلاف الأنظمة الهيترودينية فان أنظمة التعديل المباشر لا يتم رفع تردد حزمة النطاق الأساسي في المرسلة إلى تردد أعلى (التردد المتوسطIF) وإنما يتم تعديل موجة حزمة النطاق الأساسي مباشرة وترسل الموجة الميكروية.

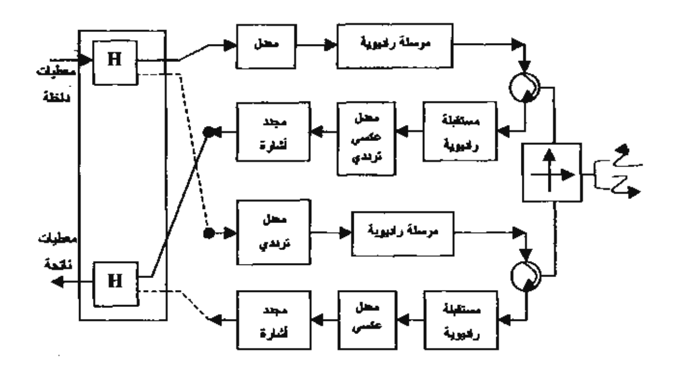
وفي المستقبلة يخفض التردد الميكروي إلى تردد أدنى (التردد المتوسط IF) في مرحلة أولى، ثم تعدل الشارة الناتجة عكسيا لاسترجاع حزمة النطاق الأساسي والتي تخزن في مجدد الإشارة.

الشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي Block Diagram للأنظمة الرقمية ذات مرسلات التعديل المباشر:



6-4 أنظمة الحماية الاحتياطية

لرفع مستوى الكفاءة والاعتمادية للنظام الرقمي فلا بد من توفير قنوات احتياطية للحماية والعمل في حال حدوث أعطال في القنوات الأساسية. والشكل التالي يوضح نظام تباين وفتح وغلق لمحطة نموذجية (قناة عاملة عدد 1 وقناة حماية عدد1):



حيث تقوم وحدة الهجين ذات الاعتمادية العالية High Reliable Hybrid بشطر إشارة المعلومات إلى وحدتين متماثلتين، حيث توجه الأولى (بالخط الموصول) إلى القناة الرئيسية بينما توجه الثانية (بالخط المتقطع) إلى القناة الاحتياطية. حيث تحتوي كل قناة من الاثنتين من المعدل (معدل منفصل لكل قناة).

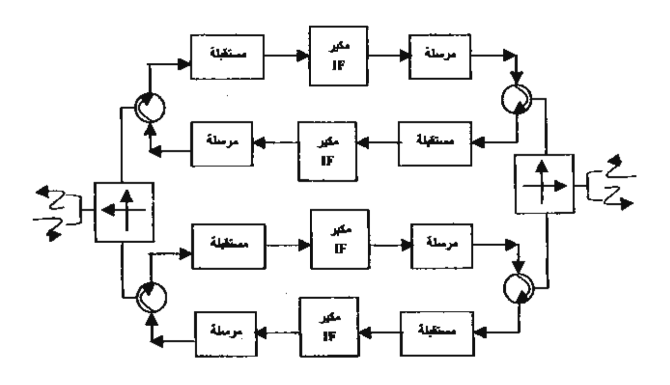
وتعمل الدوارات على توجيه الإشارات المرسلة إلى الهوائي وحجزها عن دائرة الاستقبال، و في الوقت نفسه تعمل الدوارات على توجيه الإشارة المستقبلة من الهوائي إلى دائرة الاستقبال دون دائرة الإرسال.

وترتبط الإشارات الراديوية الناتجة من الدوارات بمصفيات متقاطعة قطبيا والتي تعطي الإشارات ذات التباين الموحد الاستقطاب.

ويتكون المستقبل من الأجزاء السابق ذكرها وشرحها (المخفض للتردد المتوسطة IF والمعدل العكسي ومجدد الإشارة). ومعظم الأنظمة الرقمية الميكروية تستعمل المعيدات المجددة للإشارة (وهي المعيدات التي تمر فيها

الإشارة خلال عملية التعديل والتعديل العكسي بمجدد للإشارة).والتي تعد ملائمة للتوافق مع أجهزة TDM لحشو وأخذ المعطيات في ما بعد.

أما المحطات المعيدة للموجة غير المجددة فتعمل مع الأجهزة الهيتروديينية كما هو موضح في الشكل التالي:



وتمتاز المعيدات غير المجددة عن المعيدات المجددة بكونها أبسط في تركيبها وبالتالي فهي أقل تكلفة، ولكن بسبب عدم تجديد الإشارة فيها فان تشويهها والتشويش المصاحب لها يتراكم من محطة إلى أخرى.

كما توجد أنظمة رقمية تتألف من قناة احتياطية عدد 1 وقنوات عاملة عدد N تعمل بنظام التباين الترددي والتباين الفراغي (السابق وصفهم)، وعادة تستعمل أنظمة الحماية والتباين (N+1) مع عدد كبير من القنوات الراديوية عبر مسار تراسل واحد.

5-6 كسب النظام System Gain

يمثل كسب النظام مقياس لأداء النظام، ونعطي الصورة العامة عن أبسط تصميم له بناء على المتغيرات التي تربط بينها. وتبين الفرق بين قدرة الإشارة المرسلة وبدء حساسية المستقبلة للإشارة لمعدل خطأ جزئي.

لن عدد من النبضات (bits) تشفر في الإشارة المرسلة، ولن معامل أكثر أهمية من قدرة الحامل له أهمية هو الطاقة لكل نبضة Energy per Bit) E_b)، حيث:

$$E_b = P_t T_b$$

ويمثل:

E_b : طاقة النبضة المفردة (جول لكل نبضة Joul/Bit).

P_t: القدرة الكلية للإشارة الحاملة (Watt).

T_b : زمن النبضة المفردة (sec).

وشدة التشويش لها العلاقة التالية:

$$N_o = N/B = K/T_e$$

ويمكن بالتالي إيجاد النسبة بين طاقة النبضة إلى شدة التشويش Energy of Bit to Noise Density على النحو التالي:

$$E_b/N_o = (P_c/F_b)/(N/B) = P_c B/N F_b$$

حيث:

N_o : شدة التشويش watt/Hz.

N: قدرة التشويش الكلية watt.

B: عرض النطاق Hz.

K: ثابت بولتزمان J/K^o.

T_e: درجة الحرارة المكافئة للتشويش K^o

F_b: معدل النبضات ويساوي $1/T_b$, بوحدة Hz.

مثال1: لنظام له عرض نطاق 10 MHz وقدرة تشويش كلية 0.0276 pw ، حدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.

الحل:

بالتعويض المباشر في العلاقة أعلاه نحصل على:

$$N_o = N/B$$
$$= 276 * 10^{-16}/10 * 10^{6}$$
$$= 276 * 10^{-23} \text{ watt/Hz}$$

وبالتالي يمكن حساب درجة الحرارة المكافئة للتشويش على النحو التالي:

$$T_e = N_o/K$$
$$= 276 * 10^{-23}/1.38 * 10^{-23}$$
$$= 200 K^o$$

مستلزمات نطاق الخفوت لإعتمادية نظام محددة

ان معادلة الاعتمادية لبارنيه فيجانات تقرر أقصى نطاق خفوت يسمح به لاعتمادية نظام سنوية، والمعادلة التالية تعطي الحل لنظام غير محمي وغير متباين:

$$FM = 30 \text{ Log}(d) + 10 \text{ Log}(6A*B*F) - 10 \text{ Log}(1-R) - 70$$

حيث:

(1-R) : تمثل الاعتمادية الموضوعية لمسار طوله 400 Km.

A: معامل الخشونة للأسطح، وتأخذ القيم التالية:

4 : للأراضي الملساء وسطح الماء.

1 : للأراضي متوسطة الخشونة.

0.25 : للأراضي الخشنة والجبال.

B : معامل لتحويل الاعتمادية البيئية الشهرية لسنوية، وتأخذ القيم التالية:

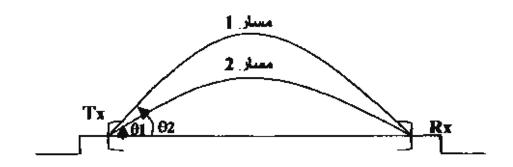
0.5 : للبحيرات الكبيرة أو للمساحات المشابهة الرطبة

0.25 : للأراضي المتوسطة.

0.125 : للأراضي الجافة أو الجبال.

6-6 ظاهرة الخفوت المتعدد Multi-Path Fading

ان الجو(وهو الوسط الناقل للإشارة المرسلة) يعد وسط غير متجانس، فمن جهة كلما ارتفعنا عن سطح الأرض كلما خف وزن الهواء وبالتالي قلت كثافته ومن جهة أخرى تؤثر العوامل الجوية كالرياح والضغط الجوي والحرارة والرطوبة أيضا على اختلاف معاملات طبقات الجو. تؤدي هذه العوامل المختلفة على اختلاف معاملات الانكسار لطبقات الجو مما يؤدي إلى انكسار الأمواج المرسلة عند انتقالها من طبقة إلى أخرى، وقد تتعرض الموجة إلى عدة انكسارات كما هو موضح في المثال التالي:



حيث سارت الموجة المنتقلة من المرسلة بمسارين مختلفين باتجاه المستقبلة، وتجمع الإشارات من المسارات المختلفة عند هوائي المستقبلة. وبسبب اختلاف طول المسار الذي تسلكه كل موجة منكسرة فان هنالك فرق طور بين الموجات المجمعة مما يؤدي إلى الحصول على موجة ضعيفة. وتسمى هذه الظاهرة بالخفوت متعدد المسار.

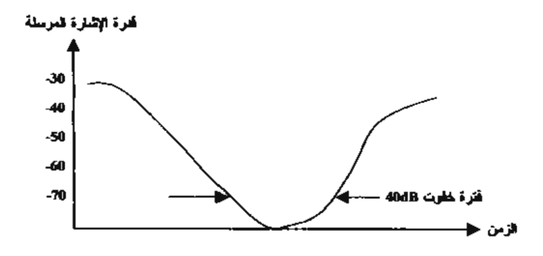
وإحصائيا يمكن ان تكون محصلة اتساع المسارات المجمعة عند هوائي المستقبلة صفرا أو قريبة من الصفر حيث تسمى هذه الظاهرة بالخفوت المتعدد العميق. وقد يتعرض الشعاع في المسار الواحد إلى انكسارات متعددة وقد لا تصل نتيجة ذلك إلى نقطة الاستقبال المطلوبة.

فترة الخفوت المتعدد المسار

تعرف فترة الخفوت على أنها الزمن الذي تستمر فيه ظاهرة الخفوت لإشارة دون مستوى معياري L. وتحدد مستويات الخفوت بالديسيبل، أي ان المستوى:

$$L_{dB} = 20\ \text{Log}(L)$$

والشكل التالي يبين علاقة الزمن مع القدرة المطلقة للإشارة المستقبلة:

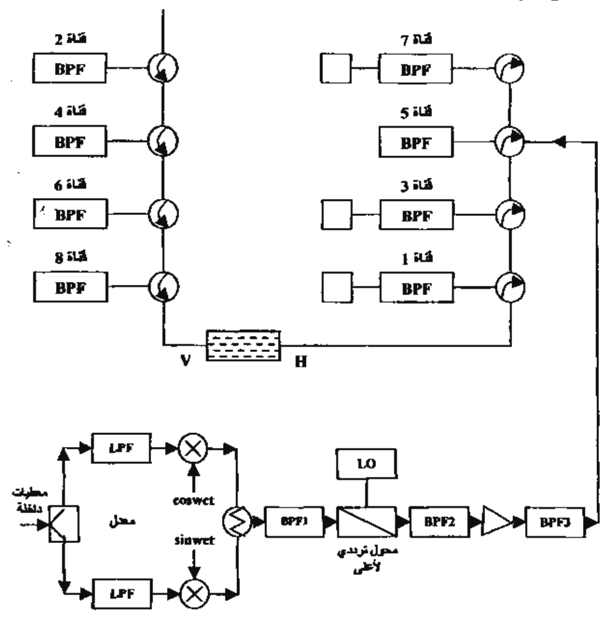


ان فترة الخفوت لا تعتمد على قيمة التردد المرسل وإنما تعتمد فقط على قيمة مستوى الخفوت L، حيث متوسط زمن الخفوت يساوي:

$$T_{av} = 410\,L \qquad L < 0.1$$

7-6 المستقبلات-المرسلات الرقمية Digital Transceiver

يوضح الشكل التالي المخطط الصندوقي لمرسلة رقمية وأهم الأجزاء المكونة لها:

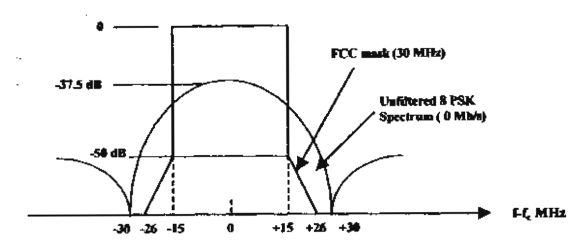


وكما هو واضح فإن جميع القنوات المتجاورة متقاطعة استقطابيا Cross Polarized. وهذه الخطة هي المتبعة في كندا للحزمة الترددية 8 GHz. وتعمل المصفيات على التخلص من المكونات خارج حزمة النطاق الأساسي لتجنب التداخل بين القنوات المتجاورة وفقا لمواصفات وتحديدات الوكالات والهيئات الدولية للاتصالات ، كذلك للتقليل من التشويش. والمصفيات المستخدمة هي:

1. مصفيات تمرير الترددات المنخفضة Low Pass Filter (LPF) : لمرحلة التعديل الأولي.
2. مصفيات تمرير حزمة Band Pass Filter (BPF1) : لمرحلة الترددات المتوسطة IF.
3. مصفيات تمرير حزمة Band Pass Filter (BPF2) : لمرحلة الترددات الراديوية قبل مرحلة مكبر القدرة.
4. مصفيات تمرير حزمة Band Pass Filter (BPF3) : لمرحلة الترددات الراديوية بعد مرحلة مكبر القدرة.

والشكل التالي يبين التحكم بالطيف الترددي وعرض النطاق المسموح به من هيئة FCC والذي يساوي 6 GHz ، والذي يبين أهمية المصفيات حيث يلزم تصفية حادة للحصول على حدود الإشعاع PSK المطلوبة .

لأجل تجنب التداخل بين القنوات المتجاورة (يجب تحديد عرض النطاق للطيف الترددي المرسل بعرض 30 MHz):



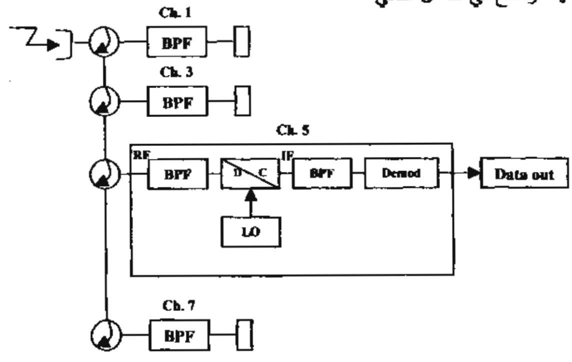
فإذا كان يجب إرسال معطيات بقيمة 90 Mb/sec خلال عرض الحزمة المحددة 30 MHz فهذا يستدعي استخدام تقنية لها فعالية على الأقل:

$$A = BW/ Data$$
$$= 30\ MHz/(90\ Mb/sec)$$
$$= 3\ bit/sec/Hz$$

وهذا يستلزم تعديل من نوع M-ARY-PSK حيث M تساوي:

$$M = 2^n = 2^3 = 8$$

أما بالنسبة للمستقبلة الرقمية المتعددة القنوات فان المخطط الصندوقي لها موضح في الشكل التالي:



كذلك في المستقبلة يستعمل عدد من المصفيات (سواء في مرحلة الترددات المتوسطة أو الراديوية أو بعد التعديل العكسي للحصول على حزمة النطاق الأساسي).

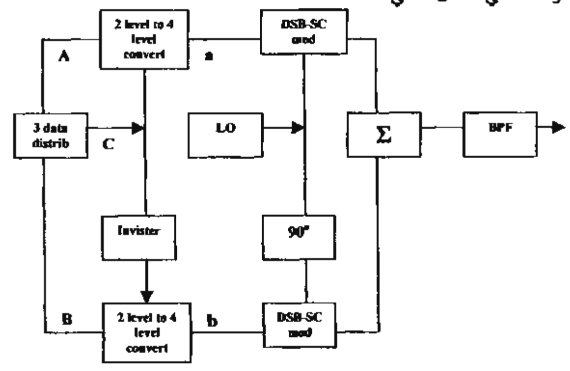
6-8 الأنظمة الرقمية ذات الفعالية العالية بالنسبة لعرض الحزمة

Bandwidth Efficient System

الأنظمة الرقمية التي سنتطرق لها في هذا الجزء من نوع 8 Phase) Shift Keying) 8PSK ونظام 16 Quadrate Amplitude Modulation (16 QAM).

6-8-1 أنظمة 8-PSK

ان أنظمة 8-PSK تستخدم غالبا لأنظمة التراسل ذات سيل المعطيات من 15 Mbit/sec إلى 100 Mbit/sec ، والمخطط الصندوقي لهذه الأنظمة موضحة في الشكل التالي:



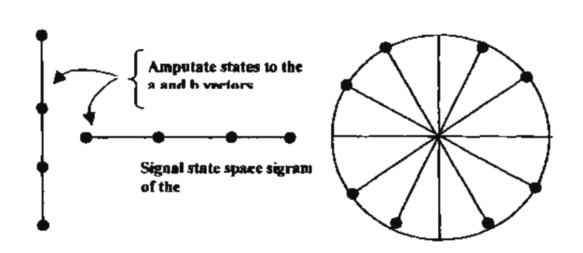
حيث تمثل f_b معدل المعطيات الرقمية الداخلة إلى النظام،ويقوم موزع البيانات الثنائية (3 Data Distributor) بشطر المعطيات الداخلة إلى ثلاثة جداول متماثلة وبالتالي يصبح معدل المعطيات في كل جدول ثلث المعدل الأصلي (أي $f_b/3$). ثم تدخل (نبضة المعطيات الأولى والثانية) و(نبضة المعلومات الثالثة ومعكوس الثانية) كل منهما إلى محول من المستويات الثنائية إلى أربعة مستويات ليعطي إحدى الحالات الأربعة الممكنة لإشارة النطاق الأساسي القطبية عند النقط a و b وفقا للأسلوب الموضح في الجدول التالي:

الحالة	C	B	A
a and b is -ve, b>a	0	0	0
A is +ve and b is -ve, b>a	0	0	1
A is -ve and b is +ve, b>a	0	1	0
a and b is +ve, b>a	0	1	1
a and b is -ve, b<a	1	0	0
A is +ve and b is -ve, b<a	1	0	1
A is -ve and b is +ve, b<a	1	1	0
a and b is +ve, b<a	1	1	1

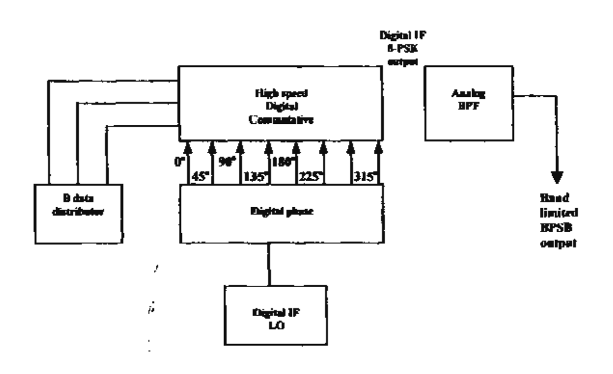
حيث تحدد حالة A الرقمية قطبية الإشارة الخارجة a وبنفس الأسلوب تحدد حالة B الرقمية قطبية الإشارة الخارجة b، بينما تحدد قيمة C أي المخرجين ذو اتساع أكبر من الآخر بحيث a>b إذا كانت قيمة C=1، وb>a إذا كانت قيمة C=0.

ان الأربعة مستويات المستقطبة لإشارات النطاق الأساسي تستخدم لتعديل حاملين متعامدين(Quadrature Carrier) تعديل سعويا من نوع Double Side Bands Suppressed Carrier (DSB-SC).

والمخطط الفراغي لإشارة النطاق الأساسي وإشارة 8-PSK المعدلة موضحة في الشكل التالي:



ويستخدم المعدل 8-PSK ذو سيل المعلومات العالية (90 Mb/sec) دوائر منطقية رقمية على النحو الموضح في الشكل التالي:



حيث يقوم موزع المعطيات هنا أيضا بتوزيعها على الجداول الثلاث المتماثلة التي سيكون لها معدل بيانات يساوي ثلث معدل البيانات الداخلة $(f_b/3)$ كما هو الحال في الدائرة السابقة. بينما يولد المهتز المحلي الترددات العالية التي تمر على الدائرة التي تنتج من الإشارة العالية 8 أطوار مختلفة لتعديل كل حالة من الحالات الرقمية على مدخل المازج ذو السرعة العالية على النحو التالي (كمثال):

المدخلات الرقمية	الطور
000	0^o
001	45^o
010	90^o
011	135^o
100	180^o
101	225^o
110	279^o
111	315^o

يقوم مصفي تمرير الحزمة الترددية BPF على تصفية الإشارة الحاملة 8-PSK للحصول على موجة محدودة عرض النطاق. لكن يهبط أداء هذا النظام بوجود التشويش الأبيض الإضافي أو بوجود تداخل الإشارات.

2-8-6 أنظمة 16-QAM

تستعمل أنظمة 16-Ary QAM لمتطلبات أنظمة التراسل ذات الفعالية العالية التي لها معدل سيل معلومات يساوي (4bit/sec/Hz)، حيث:

$$M = 2^n = 2^4 = 16$$

وأنظمة QAM ذات الإشارة المعدلة رقميا التي تحمل المعلومات الثنائية في الطور و/أوفي الاتساع يتم الحصول عليها بطريقة مشابهة للسابق ذكرها في الموضوع السابق. والشكل التالي يبين المخطط الفراغي لعدة إشارات ثنائية (رقمية) معدلة PSK:

Efficient Digital Radio Systems

Bandwidth

M = 2

OPSK

M = 4

4- phase OPSK

M = 8

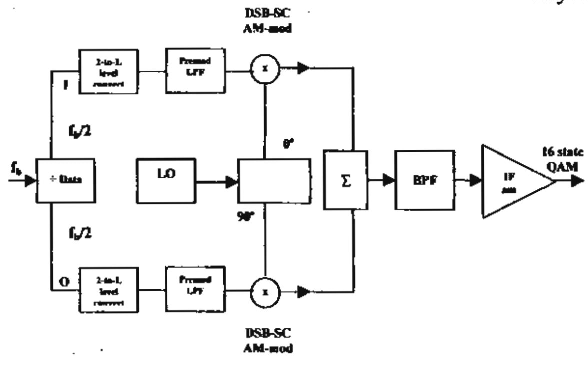
M = 16

4- phase OPSK = 8 selected states 4-level PAM Gudry DSB-SC-AM

M = 16-ary Qam (note different values of vector magnitude)

يمكن الحصول على إشارة 8-PSK من جمع إشارتين PAM متعامدتين معدلتين للمستويات الأربعة المحتملة. ولتحقيق فعالية أعلى من 3 bit/sec/Hz تلزم درجات أعلى من أنظمة M Ary-QAM أوPSK .

والشكل التالي يبين المخطط الصندوقي لمعدل QAM بدون حامل (QAM-SC) والذي يسمى "معدل فتح وغلق الطور والاتساع Amplitude-Phase Keyed ":



يقوم موزع البيانات الرقمية Data Distribution بتوزيعها إلى جدولين متماثلين، فإذا كان نعدل سيل المعلومات f_b فان هذا المعدل يصبح في كل جدول ($f_b/2$). ومن ثم يقوم محول المستويات بتحويل البيانات في كل جدول من المستويين إلى المستوى L (الأكبر من 4 للحصول على فعالية أكبر من 3bit/sec/Hz). ويتم حساب معدل الرمز Symbol الخارج من محول المستويات على النحو التالي:

$$f_s = (f_b/2)/\text{Log}_2(L)$$
$$= (f_b/2)/\text{Ln}(L) \quad \text{Sym/sec}$$

ومن المخطط نلاحظ استخدام مصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF، والتي يمكن حساب تردد القطع لها أو أقل عرض النطاق لها بحسب نظرية نايكويست Nyquist Theory ($f_s \geq 2f_m$)، على النحو التالي:

$$BW_{LPF} = f_m$$
$$= f_s/2$$

أما مصفيات للموجات ذات الترددات المتوسطة IF، فعرض النطاق لها يجب أن يساوي ضعف عرض حزمة النطاق الأساسي:

$$BW_{IF} = 2f_m$$
$$= 2\ BW_{LPF}$$

مثال: إذا كان معدل من المصدر يساوي f_b=10 Mb/sec ، ولزم إشارة معدلة بنظام 16 QAM لها فعالية نظرية 4bit/sec، حيث تحول الجداول الرقمية المستبدلة إلى جداول لحزم النطاق الأساسي ذات أربعة مستويات. جد كل مما يأتي:

1. معدل سيل البيانات الرقمية في الجداول.
2. معدل الرمز f_s .
3. أقل عرض النطاق لمصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF.
4. عرض للنطاق مصفيات للموجات ذات الترددات المتوسطة IF.

الحل:

بالتطبيق المباشر للعلاقات أعلاه نحصل على:

1. المعدل يصبح في كل جدول = $(f_b/2)$

= 5Mb/sec =(10Mb/sec)/2 .

2. معدل الرمز fs يساوي:

$$f_s = (f_b/2)/Log_2(L)$$
$$= (\ 5Mb/sec)/Log_2(4)$$
$$= 2.5\ Mb/sec$$

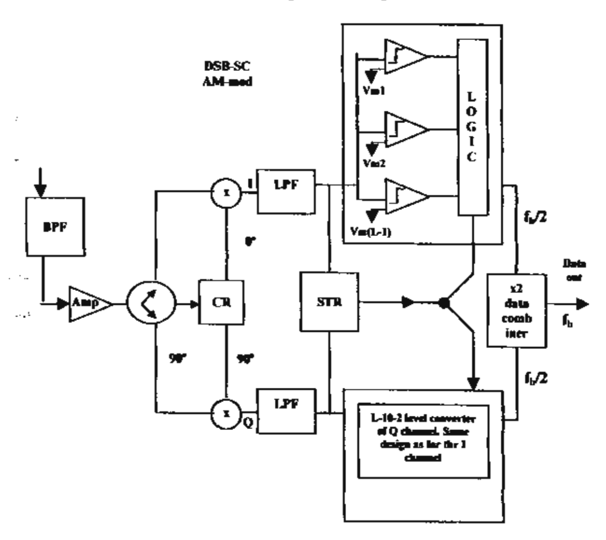
3. أقل عرض النطاق لمصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF يساوي:

$$BW_{LPF} = f_m = f_s/2$$
$$= 2.5/2 = 1.25 \text{ MHz}$$

4. عرض النطاق مصفيات الموجات ذات الترددات المتوسطة IF يساوي:

$$BW_{IF} = 2f_m = 2\ BW_{LPF}$$
$$= 2*1.25 = 2.5 \text{ MHz}$$

أما بالنسبة للمخطط الصندوقي للمستقبلة الرقمية (المعدل العكسي) لنظام M-Ary QAM فهو مبين في الشكل التالي:



يلزم دوائر المقارن Comparators بعدد يساوي (L-1) لاسترجاع التردد الحامل وتردد الرمز f_s، حيث L عدد مستويات النطاق الأساسي المعدلة. ناتج المقارن تكون:

1. مستوى عالي (الحالة الرقمية 1) : إذا كان مستوى الإشارة المستقبلة والتشويش أعلى من مستوى البدء Preset.
2. مستوى منخفض (الحالة الرقمية 0) : إذا كان مستوى الإشارة المستقبلة والتشويش أقل من مستوى البدء Preset.

وتتم التجزئة بمعدل رمز يساوي:

$$f_s = f_b/(2 \, Log_2(L)$$

يتم الحصول على مستويين من مستويات ذات العدد L للحصول على ناتج ثنائي متوازي ، وتعطي مداخل موحد المعطيات (X2) إشارة ثنائية ذات معدل رقمي $f_b/2$ من القناة I وآخر مشابه من القناة Q . ومن ثم يقوم موحد المعطيات بتحويل البيانات الرقمية من التوازي إلى التوالي (لعكس عمل موزع المعطيات في دائرة المعدل) فيتحقق معدل سيل معطيات في هذه المرحلة يساوي f_b.

مثال توضيحي على أنظمة 16-Ary QAM هو نظام الراديو 2 GHz والمصرح له من FCC بعرض نطاق 3.5 MHz.وبالتالي نظريا فان سيل المعطيات الممكنة لهذا النظام تساوي:

$$f_b = 3.5 \text{ MHz} * 4 \text{ bit/sec/Hz} = 14 \text{ Mb/sec}$$

أما من الناحية العملية فان معامل انخفاض (0.3→1) يؤثر على القيم الحقيقية للنظام. وعلى فرض انه يساوي 0.5، فانه يلزم 50% من قيمة عرض النطاق، وبالتالي تصبح قيمة عرض النطاق للتراسل العملي:

$$(14\text{Mb/sec})/ 1.5 = 9.33 \text{ Mb/sec}$$

والملاحظة الجديرة بالانتباه أن المخطط الصندوقي للمعدل العكسي لنظام QAM مع نظيره لنظام M-Ary-PSK في أغلبية المكونات الصندوقية، ولذلك يمكن استخدامه للتعديل العكسي لإشارة 8-PSK أو 16–PSK (بعد بعض التغييرات البسيطة في دوائر معالجة الإشارة).

أسئلة الوحدة السادسة

س1) ما عدد الأطراف في المسار الميكروي الرقمي ذو طول ؟

س2) ما نوع المعلومات في الأنظمة الرقمية ؟ وما معدل سيل البيانات؟

س3) في أي مرحلة تحدث عمليتي التعديل والتعديل العكسي في المستقبلات والمرسلات الرقمية ؟

س4) ارسم المخطط الصندوقي لمسار راديوي رقمي.

س5) ما الصفة الأساسية للأنظمة الهيتروديينية الرقمية (وحتى غير الرقمية)؟

س6) ارسم المخطط الصندوقي للأنظمة الرقمية الهيتروديينية.

س7) ما المقصود بالتعديل العكسي المترابط Coherent De-Modulation ؟

س8) ما الفرق بين الأنظمة الهيتروديينية وأنظمة التعديل المباشر الرقمية؟

س9) ارسم المخطط الصندوقي Block Diagram للأنظمة الرقمية ذات مرسلات التعديل المباشر.

س10) كيف يتم العمل في نظام تباين وفتح وغلق لمحطة نموذجية (قناة عاملة عدد 1 وقناة حماية عدد1)؟

س11) ارسم الشكل المبين للمحطات المعيدة للموجة غير المجددة العاملة مع الأجهزة الهيتروديينية ؟

س12) بما تمتاز المعيدات غير المجددة عن المعيدات المجددة ؟

س13) مع ماذا تستعمل عادة أنظمة الحماية والتباين (N+1) ؟

س14) ما المقصود بكسب التظلم ؟

س15) لنظام له عرض نطاق 14 MHz وقدرة تشويش كلية 0.02 pw ، حدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.

س16) لنظام له عرض نطاق 12 MHz وقدرة تشويش كلية 0.04 pw ، حدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.

س17) لنظام له عرض نطاق 14 MHz وقدرة تشويش كلية 0.02 nw ، حدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.

س18) ما قيمة معامل الخشونة A للأسطح التالية:

1. للأراضي الملساء وسطح الماء.
2. للأراضي متوسطة الخشونة.
3. للأراضي الخشنة والجبال.

س19) ما قيمة المعامل B لتحويل الاعتمادية البيئية الشهرية لسنوية للأسطح التالية:

1. للبحيرات الكبيرة أو المساحات المشابهة الرطبة
2. للأراضي المتوسطة.
3. للأراضي الجافة أو الجبال.

س20) ما المقصود بظاهرة الخفوت متعدد المسار؟

س21) ما المقصود بظاهرة الخفوت المتعدد العميق؟

س22) ما المقصود بفترة الخفوت؟

س23) هل تعتمد فترة الخفوت على قيمة التردد المرسل؟

س24) على ماذا تعتمد فترة الخفوت؟

س25) ما قيمة فترة الخفوت إذا علمت أن مستوى الخفوت يساوي 20 dB؟

س26) ارسم المخطط الصندوقي لمرسلة رقمية.

س27) ما وظيفة المصفيات في المرسلات المستقبلات الرقمية؟

س28) ما المصفيات المستخدمة في المرسلات المستقبلات الرقمية؟

س29) ارسم المخطط الصندوقي للمستقبلة الرقمية.

س30) مع أنظمة التراسل التي تستخدم مع أنظمة 8-PSK (ما مدى ميل المعطيات لها)؟

س31) ارسم المخطط الصندوقي لدائرة المعدل لنظام 8-PSK ؟

س32) ارسم المخطط الصندوقي لدائرة المعدل العكسي لنظام 8-PSK ؟

س33) وضح أسلوب عمل دائرة المعدل لنظام 8-PSK.

س34) ماذا يحدد في دائرة المعدل لنظام 8-PSK حالة:

1. A.
2. B.
3. C.

س35) ارسم المخطط الفراغي لاشارة 8-PSK.

س36) ارسم المخطط الصندوقي لمعدل QAM بدون حامل (QAM-SC) والذي يسمى "معدل فتح وغلق الطور والاتساع Amplitude-Phase Keyed ".

س37) إذا كان معدل من المصدر يساوي f_b=20 Mb/sec ، ولزم إشارة معدلة بنظام 16 QAM لها فعالية نظرية 4bit/sec، حيث تحول الجداول الرقمية المستبدلة إلى جداول لحزم النطاق الأساسي ذات أربعة مستويات. جد كل مما يأتي:

1. معدل ميل البيانات الرقمية في الجداول.

2. معدل الرمز f_s .

3. أقل عرض النطاق لمصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF.

4. عرض النطاق مصفيات الموجات ذات الترددات المتوسطة IF.

س38) إذا كان معدل من المصدر يساوي f_b=10 Mb/sec ، ولزم إشارة معدلة بنظام QAM 16 لها فعالية نظرية 3bit/sec، حيث تحول الجداول الرقمية المستبدلة إلى جداول لحزم النطاق الأساسي ذات أربعة مستويات. جد كل مما يأتي:

1. معدل سيل البيانات الرقمية في الجداول.

2. معدل الرمز f_s .

3. أقل عرض النطاق لمصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF.

4. عرض النطاق مصفيات الموجات ذات الترددات المتوسطة IF.

س39) ما تأثير معامل الانخفاض على عرض النطاق للأنظمة العملية من نوع QAM؟

س40) ما المشترك بين المخطط الصندوقي للمعدل العكسي لنظام QAM مع نظيره لنظام M-Ary-PSK ؟

الوحدة السابعة



الرادار Radar

الوحدة السابعة

الرادار Radar

7-1 مقدمة عن مبدأ عمل الرادار

يمثل الرادار الاستخدام التقليدي للميكرويف، ولقد بدأ العمل به في بداية الحرب العالمية الثانية Second World war. ان الكلمة "RADAR" مأخوذة من الأحرف الأولى للمصطلح في اللغة الإنجليزية: RAdio Detection And Ranging، أي تحديد وكشف المسافة بالأمواج الراديوية.

وبالإمكان تعريف الرادار بأنه: النظام الكهرومغناطيسي Electromagnetic System الذي يستخدم للكشف عن مواقع الأهداف Targets وتحديد بعدها Distance، ويتم ذلك بإرسال موجة خاصة ترتد عن الهدف راجعة إلى المرسل مرة أخرى (إشارة الصدى)، وتحلل هذه إشارة الصدى للحصول على المعلومات المطلوبة عن الهدف. ومن الموجات المستخدمة لهذا الغرض الموجات الجيبية (Sin-Waves) المعدلة تعديل نبضي Pulse Modulation.

ويتميز نظام الرادار بأن نقطة الإرسال ونقطة الاستقبال تقعان في نفس الجهة، والإشارة المستقبلة هي الإشارة المرتدة عن الهدف والتي بالتأكيد تختلف عن الإشارة المستقبلة. وليس الهدف في الرادار الحصول على إشارة مستقبلة مطابقة للإشارة المرسلة وإنما تحليل الاختلاف بين الإشارتين.

ان أبسط أنواع الرادارات هو الرادار النبضي Pulse Radar المستخدم في المطارات والذي يعطي دلالة عن موقع الطائرات من خلال حساب الزمن الذي تحتاجه الموجة الموجهة لتصطدم بالطائرة وتعود إلى الرادار وهذه

الموجة الموجهة هي كناية عن ضوء ضيق النطاق Narrow Beam Search Line. أما عمل رادار دوبلر Doppler Radar أو رادار الموجة المستمرة Continuous Wave (CW) يعطي دلالة عن سرعة الأجسام وليس بعدها عن الرادار كالمستخدم من قبل شرطة المرور.

ويمكن القول أن الرادار ذو أهمية كبيرة سواء في وقت السلم أو وقت الحرب للكشف عن الطائرات والآليات الأخرى ضمن حدود معينة.

ومن خصائص الرادار:

1. لا يستطيع تحليل وإعطاء التفاصيل مثل العين البشرية: ان شاشة العرض Display للرادار لا تبين شكل الهدف (الطائرة مثلا) وإنما قد نميز الهدف على الشاشة كنقطة مضيئة في إحداثيات معينة دون أي معلومات عن شكل أو نوع أولون أو حجم هذه الطائرة أو حتى ان كان الهدف طائرة أو أي جسم متحرك آخر.
2. الهوائي Antenna المستخدم في الإرسال هو نفس الهوائي المستخدم للاستقبال: وهذا أمر منطقي نسبة إلى وظيفة الرادار، فليس الغرض من استخدامه تأمين اتصال بين نقطتين مختلفتين وبالتالي هوائيين مختلفين، وإنما الهدف إرسال إشارة إلى هدف لا ليتم استقبال هذه الإشارة من قبل هذا الهدف وإنما تحليل الإشارة المرتدة عن هذا الهدف من قبل نفس الجهة المرسلة وبالتالي لا حاجة إلا لهوائي واحد فقط (بالرغم من اختلاف دائرة الإرسال ككل عن دائرة الاستقبال ككل).
3. القدرة على قياس بعد الهدف (أو مدى الهدف):تصمم دائرة الإرسال والاستقبال في الرادار بحيث تؤدي الغرض الأساسي منه وهي تحديد موقع الهدف.

4. إمكانية العمل خلال الظروف غير الاعتيادية: يمكن تصميم الرادار بحيث يتمكن من العمل خلال الظروف الجوية الصعبة كالضباب والأمطار والثلوج وغيرها، وليتمكن من الكشف عن الهدف خلال الظلام أيضا. وبدون إمكانية العمل في هذه الظروف يفقد الرادار أهميته (مثال على ذلك: ما الفائدة من تحديد اختراق طائرة للغلاف الجوي أثناء النهار إذا لم يكن بالإمكان معرفة حدوث هذا الاختراق في الليل!)

وبعد معرفة طبيعة عمل الرادار يمكن استنتاج الشكل الأولي له والذي يتكون من:

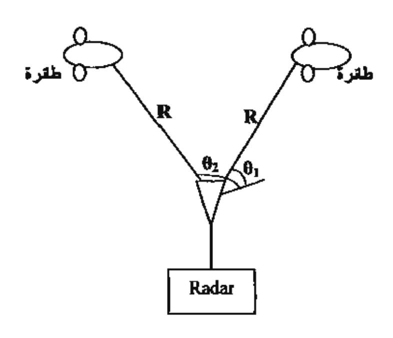
أ. هوائي مرسلة Transmitter Antenna: الذي يقوم بإشعاع Radiation الأمواج الكهرومغناطيسية ذات التردد الميكروي.

ب. هوائي مستقبلة Receiver Antenna الذي يستقبل الإشارة المرتدة عن الهدف.

ج. دائرة كشف الطاقة المستقبلة P_r، حيث تختلف إشارة الموجة المرسلة عن إشارة الموجة المستقبلة بسبب الخسارة Losses التي تتعرض لها بعد بثها واصطدامها بالجسم وارتدادها مرة أخرى للرادار. حيث تنتشر الموجة المرسلة لمساحة واسعة وجزء منها فقط يصطدم بالهدف ويتم امتصاص جزء من طاقة الإشارة نتيجة الاصطدام ثم ترتد الموجة بجميع الاتجاهات وجزء منها فقط الذي يصل إلى مرة أخرى إلى المستقبلة حيث تمثل طاقة الإشارة المستقبلة P_r وبمعالجة هذه الإشارة يتم تحديد موقع وسرعة الهدف.

2-7 قياس بعد الهدف

وظيفة الرادار الرئيسية هي تحديد موقع الهدف، وهذا يعني تحديد المدى (البعد) Range والاتجاه Direction وليس البعد فقط .كما هو موضح في الشكل التالي الذي يبين هدفين على نفس البعد من الرادار ولكن باتجاهين مختلفين (وبالتالي موقعين مختلفين):



والإجراء المتبع لتحقيق ذلك هو:

1. **تحديد المدى Range**: يتم قياس الزمن الكلي T الذي يلزم الموجة المرسلة لكي تصل إلى الهدف وترتد عنه راجعة إلى الرادار، والذي يساوي :

$$T = t_1 + t_2$$

حيث:

t_1 : يمثل الزمن الذي تستغرقه الموجة المرسلة للوصول إلى الهدف.

t_2 : يمثل الزمن الذي تستغرقه الموجة المرتدة للوصول إلى الرادار.

ولا يتساوى كلا من t_1 وt_2، ولكن للتبسيط يفرض تساوي الزمن اللازم الموجة المرسلة للوصول إلى الهدف والزمن الذي تستغرقه الموجة المرتدة للوصول إلى الرادار وبالتالي:

$$T_R = t_1 + t_2 = 2T$$

وبالتالي فان الزمن اللازم لوصول الموجة للهدف يساوي نصف الزمن الكلي المقاس:

$$T = T_R/2$$

والموجة المرسلة عادة عبارة عن موجة جيبية ذات تردد عالي (ميكروي) معدلة بقطار من النبضات المستطيلة Pulse Modulation، وسرعة هذه الموجة في الفراغ يساوي سرعة الضوء ($3 * 10^8$m/sec).

وبمعرفة الزمن والسرعة يمكن حساب المدى بالقانون الفيزيائي:

$$R = C * T$$

حيث:

C: يمثل سرعة الموجة وتساوي سرعة الضوء في الفراغ وتساوي $3 * 10^8$m/sec.

T_R: الزمن الذي يلزم الموجة المرسلة لكي تصل إلى الهدف.

وبالتعويض المباشر لقيمة سرعة الضوء في القانون أعلاه تصبح العلاقة بالصورة التالية:

$$\begin{aligned} R &= C * T \\ &= 3 * 10^8 *(T_R/2) \\ &= 0.15\ T_R \end{aligned}$$

حيث:

R: بعد الهدف بوحدة Km.

T_R : زمن الوصول إلى الهدف بوحدة µsec.

T: الزمن الكلي الذي تستغرقه الإشارة من هوائي المرسلة إلى الهدف والعودة إلى هوائي المستقبلة مرة أخرى بوحدة µsec أيضا .

ويمكن التعبير عن علاقة المدى بالزمن أيضا على النحو التالي:

$$R = 0.08\ T_R$$

حيث:

R: بعد الهدف بوحدة nmi.

T_R : زمن الوصول إلى الهدف بوحدة µsec.

من الضروري الكشف عن إشارة الصدى المرتدة قبل إرسال النبضة التالية كي لا يحدث خطأ في قراءة الزمن، وعند قياس ضعف الزمن عوضا عن الزمن الفعلي سيتم حساب المدى بشكل خاطئ ويعد الجسم على بعد مساوي لضعف بعده الحقيقي.

مثال1: إذا كان الزمن الكلي المقاس من قبل الرادار والذي استغرقته إشارة الوصول إلى طائرة والاصطدام بها والارتداد عنها إلى الرادار يساوي 0.01msec، فما بعد الطائرة عن نقطة الرادار:

أ. بوحدة Km.

ب. بوحدة nmi.

الحل:

ان الزمن المقاس في هذا المثال هو الزمن الكلي، وبالتالي فان الزمن اللازم للوصول للهدف هو نصف هذه القيمة وتساوي:

$$T_R = T/2$$
$$= 0.01/2 = 0.005\ \text{msec} = 5\ \mu\text{sec}$$

وبالتعويض المباشر الآن لهذه القيمة (بوحدة μsec) في معادلتي المدى نحصل على:

أ. بوحدة Km :

$$R = 0.15\ T_R$$
$$= 0.15 * 5 = 0.75\ Km$$

ب. بوحدة nmi :

$$R = 0.08\ T_R$$
$$= 0.08 * 5 = 0.4\ nmi$$

مثال2: إذا كان البعد الحقيقي لطائرة عن قاعدة الطائرات يساوي 1.5 Km ولكن تم قياسه من رادار على أنه يساوي 1.2 Km، فما قيمة الخطأ في قياس الزمن ؟

الحل:

نحسب الزمن الفعلي والزمن المقاس ونجد الفرق بين القيمتين:

أ. الزمن الفعلي:

نحسب قيمته من المدى الحقيقي للطائرة وفقت لمعادلة المدى:

$$T_R = R/0.15$$
$$= 1.5/0.15 = 10\ \mu sec$$

ب. الزمن المقاس:

نحسب قيمته من المدى المقاس للطائرة من قبل الرادار وفقت لمعادلة المدى:

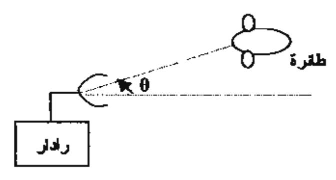
$$T_R = R/0.15$$
$$= 1.2/0.15 = 8\ \mu sec$$

وبالتالي فان للفرق d بين الزمن الحقيقي والزمن الذي تم قياسه في الرادار:

$$d = 10 - 8 = 2\ \mu sec$$

ان هذا الفرق البسيط في القيمة الزمنية (جزأين من المليون من الثانية) سبب خطأ في تقدير بعد الطائرة بقيمة 300m، أو بنسبة خطأ 20%.

2. تحديد الاتجاه Direction : يتم تحديد اتجاه الهدف بالنسبة للرادار بتحديد الزاوية angle التي يشكلها خط البعد (المدى) مع الأفق Horizon، كما مبين في الشكل التالي:



وتحدد من زاوية الموجة المنعكسة عن الهدف المرتدة إلى هوائي المستقبلة في الرادار. وعادة تستخدم موجات ذات حزم ضيقة لحساب الاتجاه.

3-7 تذبذب وعرض النبضة Frequency of the Pulse

عندما يرسل هوائي الرادار النبضة يجب أن ينقضي زمن كافي يسمح لإشارة الصدى بالعودة إلى هوائي المستقبلة. وكما ذكر سابقا، من الضروري الكشف عن إشارة الصدى المنعكسة والمرتدة عن الهدف قبل إرسال النبضة التالية كي لا يحدث خطأ في قراءة الزمن الضروري لتحديد المدى.

وبناء على ذلك فان معدل الموجة النبضية المرسلة يتحدد بأطوال المدى المتوقع وجود الأهداف عندها. وإذا كان معدل التردد التكراري للنبضات عالي فمن الممكن ان تصل إشارة الصدى عن بعض الأهداف بعد إرسال النبضة الثانية ويحدث التباس في قياس الزمن (بأن يحسب بين لحظة إرسال النبضة الثانية ولحظة وصول إشارة الصدى، بالرغم من أن الزمن الحقيقي، في هذه الحالة، يكون بين لحظة إرسال النبضة الأولى ولحظة وصول إشارة الصدى).

ويسمى الصدى الذي يصل إلى هوائي المستقبلة في الرادار بعد إرسال النبضة الثانية "Second Time Around Echo" أو" Multiple Time Around Echo"، ان هذا الصدى يسبب الخطأ في تقدير مدى الهدف إذا لم يتم التعرف أنه Second Time Around Echo. حيث يعد الزمن المقاس أقل من الزمن الحقيقي وبالتالي فان قيمة المدى المحسوبة ستكون أقل من القيمة الحقيقية لبعد الهدف.

ويسمى المدى، الذي يبين بعد الهدف وفق إشارة الصدى Second Time Around Echo ، بأقصى مدى غير غامض (غير ملتبس فيه unambiguous)، ويعطى وفق العلاقة التالية:

$$R_{un} = C/(2F_r)$$

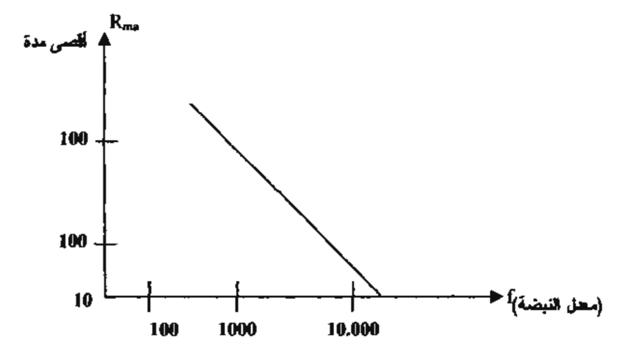
حيث أن:

R_{un}: يمثل أقصى مدى غير غامض (غير ملتبس فيه unambiguous) بوحدة المتر m.

C: يمثل سرعة الضوء في الفراغ ويساوي $3 * 10^8$ m/sec.

F_r: يمثل معدل تردد النبضات التكراري (Hz).

ومن المعادلة يتضح أن العلاقة بين بأقصى مدى غير غامض R_{um} بين معدل تردد النبضات التكراري F_r هي علاقة عكسية، فكلما زاد معدل التردد يقل المدى. والشكل التالي يوضح هذه العلاقة:



أما بالنسبة لشكل الموجة المستخدمة من قبل الرادار، فانه يرسل أمواج معدلة Modulated Waves بنبضات بسيطة، ويستخدم أنواع التعديل modulation التي تساهم في حل مشكلةMultiple Time Around Echo. فالموجة الحاملة (حامل نبضي) ذات التردد الميكروي تعدل تعديل ترددي (Frequency Modulation) أو تعديل طوري (Phase Modulation)، لغرض ضغط الإشارة المرتدة (إشارة الصدى) زمنيا بعد الاستقبال في هوائي المستقبل للرادار.

تضغيط النبضات هي طريقة تستخدم فيها نبضة معدلة طويلة للحصول على تحليل لنبضة قصيرة وكن بطاقة نبضة طويلة. ويستفاد من هذه الطريقة

في تحليل المسافات البعيدة (المدى الكبير) High Range Resolution بدون الحاجة لنبضة قصيرة.

ويمكن استعمال الأمواج المستمرة Continuous Waves(CW) (ليست نبضية) المعدلة تعديل ترددي FM أو تعديل طوري PM لقياس المدى لتحقيق ما يلي:

أ. فصل الصدى المستقبل من الإشارة المرسلة.

ب. فصل الصدى من الضوضاء المتراكمة والثابتة Stationary Clutter.

ويتم تحقيق ذلك من خلال الاستفادة من ميزة إزاحة دوبلر Doppler التي سيتطرق لها الكتاب في ما بعد.

وبتشفير Coding الإشارة المرسلة من هوائي المرسلة Transmitter Antenna، يسهل التعرف عليها عند عودتها إلى هوائي المستقبلة Receiver Antenna. وتختلف طريقة التشفير باختلاف الرادار المستخدم (أو بمعنى آخر نوع الإشارة التي يستخدمها الرادار)، ويتم التشفير على النحو التالي:

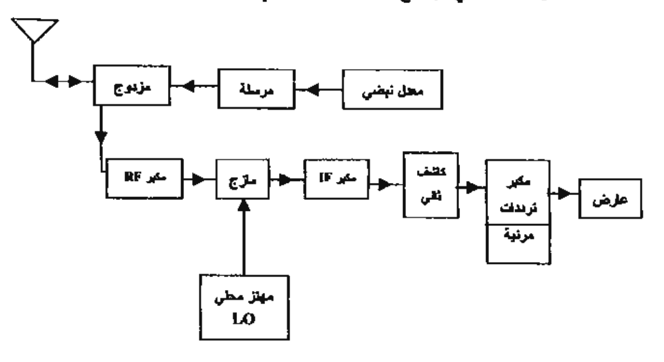
1. في الرادارات النبضية Pulse Radar : الإجراء المتبع في هذه الرادارات هو إرسال الأمواج الميكروية على هيئة نبضات، وقياس الزمن من لحظة إصدارها وإلى لحظة استقبال إشارة الصدى. ويعود تسمية هذه الرادارات إلى شكل الموجة المستخدمة فيها.

2. في رادارات الأمواج المستمرة Continuous Waves Radar : يتم في هذه الرادارات إرسال أمواج ميكروية متغيرة التردد، حيث يتم التغير المستمر والمعلوم القيمة لتردد الموجة المرسلة ومن ثم المقارنة بين تردد الموجة المرسلة وتردد الموجة المستقبلة وتحليل الإشارتين للحصول على قيمة المدى للهدف.

4-7 المخطط الصندوقي للرادار Block Diagram of Radar

من المتوقع فرق أساسي وكبير بين المخطط الصندوقي Block Diagram لنظام الرادار والمخطط الصندوقي لأنظمة الاتصالات بشكل عام. والسبب في ذلك أن نقطة الإرسال والاستقبال في نظام الرادار تقعان في جهة واحدة وهوائي الإرسال هو نفسه هوائي الاستقبال.

والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي للرادار:



وتشكل كل من {المعدل النبضي Pulse Modulator، المرسلة، والهوائي} أجزاء دائرة الإرسال ، بينما تشكل كل من {الهوائي، المكبرات، المازج، المصافي، الكاشف، والعارض} لأجزاء دائرة الاستقبال للرادار والذي غالبا ما يكون من النوع السوبر هيتروديني. ولكل جزء من هذه الأجزاء وظيفة معينة يقوم بها، وفي ما يلي تعريف بكل جزء في نظام الرادار:

1. المرسلة Transmitter : قد تتكون من مهتز يولد ترددات ميكروية (مثل Magnetron الأكثر شيوعا بين مولدات الأمواج الراديوية)، حيث يتم إنتاج قطار من النبضات المتتابعة.

ان الرادارات النموذجية التي تستخدم للكشف عن الطائرات في مسافات تتراوح بين (100-200 nmi) تستخدم نبضات ذات عرض يساوي أجزاء من المليون من الثانية ومعدل نبضة تكراري عدة مئات من النبضات في الثانية الواحدة. ويمكن أن تبلغ القيمة القصوى لقدرة الإشارة المولدة للمليون واط، أو متوسط قدرة يساوي عدة آلاف واط (Kilo Watts).

2. الهوائي Antenna : لنظام الرادار هوائي واحد للإرسال والاستقبال. وبالتالي فان وظيفة الهوائي هنا إشعاع الموجة Wave Radiation الناتجة من المرسلة إلى الفراغ، واستقبال الموجة المرتدة عن الهدف الراجعة إلى الرادار.

3. المزدوج Duplexer : يقوم بحماية المستقبلة من القدرة العالية High Power للإشارة الخارجة من المرسلة وتوجيهها فقط إلى الهوائي، حيث تصمم دوائر الاستقبال للعمل مع قدرة الإشارات المستقبلة وهي عادة قدرة قليلة تكبر من خلال المكبرات اللاحقة في المستقبلة. ومن جهة أخرى تحويل الإشارة المستقبلة (المرتدة عن الهدف) إلى المستقبلة دون المرسلة.

ويتكون هذا المزدوج من قطعتين مفرغتين من الغاز :

أ. قطعة إرسال استقبال Transmit - Receive (TR) : وهي المسؤولة عن حماية المستقبلة أثناء عملية الإرسال من خلال توجيه الإشارة المرسلة نحو الهوائي دون دائرة الاستقبال.

ب. قطعة عكس الإرسال والاستقبال Anti Transmit-Receiver (ATR): وظيفته توجيه الإشارة التي يلتقطها الهوائي نحودائرة الاستقبال وحجزها عن دائرة الإرسال.

كما وتستخدم أيضا دوارات Circulators وحاميات للمستقبلة مع باقي أدوات TR و/أو محددات من خلال استعمال الوصلة الثنائية Diodes كمزدوجات Duplexers.

4. مكبر Radio Frequency (RF) : يمثل المرحلة الأولى في دائرة الاستقبال في الرادار ويكون من النوع الحساس للتشويش noise. مثال على ذلك (Parametric Amplifier) أو(ترانزيستور حساس للتشويش البسيط. ويقوم بتكبير قدرة الإشارة المستقبلة بواسطة الهوائي.

ويعد استخدام مكبر حساس للتشويش في المرحلة الأولى للرادار أمر غير مرغوب فيه خاصة في التطبيقات العسكرية التي تكون مصحوبة عادة بوسط صاخب وضوضاء عالية، وبالتالي تكون قدرة إشارة التشويش Noise عالية وتتناقص في قوتها إشارة الصدى المطلوبة.

5. المهتز المحلي Local Oscillator :توليد موجة ذات تَردد عالي لغرض مزجها بالإشارة المستقبلة والحصول على الإشارة ذات التردد المتوسط (الإشارة المتوسطة Intermediate Waves).

6. المازج Mixer: مزج إشارة المهتز المحلي LO بالإشارة المستقبلة والحصول على الإشارة ذات التردد المتوسط FIF والذي تتراوح قيمته بين (30-60MHz).(نلاحظ أنها قيمة كبيرة لتردد متوسط إذا ما قورنت بالتردد المتوسط لأنظمة البث الإذاعي والتي تتراوح بين 455-550) .(KHz

ومن خصائص مدخل المازج المستخدم في أنظمة الرادار:

أ. ذو مجال ديناميكي كبير.

ب. أقل عرض للحمل الزائد.

ج. أقل عرض للتداخل الإلكتروني.

7. مكبر الموجة المتوسطة IF Amplifier : هو مكبر نموذجي يعمل عند الترددات المتوسطة (التي تتراوح بين 30-60 MHz)، وبعرض نطاق يساوي BW=1 MHz، ويقوم بتكبير موجة الترددات المتوسطة الناتجة من المازج.

ويصمم مكبر الموجة المتوسطة IF بخصائص المصفى المتوافق بحيث يزيد منحنى الاستجابة للمكبر H(f) من قيمة أقصى قيمة للإشارة إلى متوسط قدرة التشويش Noise على المخرج، ويتم ذلك في حال تساوي كل من اتساع الطيف الترددي Spectra لإشارة الصدى واتساع منحنى الاستجابة للمكبر.

8. الكاشف الثاني Detector : يقوم باستخلاص النبضة المعدلة Modulating Pulse بعد تكبير إشارة الصدى إلى مستوى الضجيج.

9. مكبر الترددات المرئية Video Amplifier : تكبير النبضة الناتجة من المرحلة السابقة إلى المستوى الكافي لعرضها على شاشة العرض الخاصة

10. العارض Display : تحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة مرئية تتناسب مع طبيعة ذلك العارض، والذي يكون راسم كهربائي أو راداري. وتزود إشارات الوقت للمؤشر Pointer لإعطاء المدى الصفري. كما يتم الحصول على القيمة الزاوية من اتجاه التأشير الهوائي.

5-7 معادلة الرادار الأساسية Radar Equation

ان معادلة الرادار الرئيسية هي المعادلة التي تربط أقصى مدى يستطيع الرادار قياسه، وربط قيمته بالعوامل المؤثرة فيه. ويمكن تلخيص هذه العوامل:

1. قدرة الإشارة المرسلة P_t.
2. قدرة الإشارة المستقبلة P_r.
3. كسب الهوائي G (المستخدم للإرسال والاستقبال) والمساحة الفعالة Aperture Area.
4. نوع الهدف وحجمه.
5. العوامل المحيطة (مثل العوامل الجوية).
6. التردد المستخدم (أو الطول الموجي).

وتتحقق الفوائد التالية من معادلة الرادار الرئيسية:

1. تعد طريقة لتحديد قيمة المدى القصوى التي يستطيع الرادار الكشف عن الأهداف عندها.
2. يعتمد على هذه المعادلة في تصميم الرادار Design .
3. تعطي المعادلة فكرة عن العوامل المؤثرة في القيمة القصوى للمدى كما تسهل فهم وشرح طبيعة عمل الرادار.

وفي البداية نعرف الهوائي Isotropic ، فهو الهوائي الذي يقوم بإشعاع Radiation للطاقة بالتساوي في جميع الاتجاهات وبشكل منتظم. ويتم عادة مقارنة أي هوائي نسبة لهوائي Isotropic.

وكما ذكر في موضوع سابق فان العلاقة عكسية بين شدة المجال والمسافة، أو بكلمات أخرى فان العلاقة بين كثافة القدرة $(watt/m^2)$ Intensity للإشارة المرسلة من الرادار عند نقطة معينة تتناسب عكسيا مع

مربع البعد عن تلك النقطة وطرديا مع قيمة القدرة المرسلة، حسب العلاقة التالية:

$$Intensity = Transmitted\ Power / Area$$
$$= P_t / 4\pi R^2$$

حيث:

P_t : تمثل القدرة المرسلة من الرادار بوحدة watt.

R : تمثل المسافة بين الرادار والنقطة المحسوب عندها الكثافة I، بوحدة m.

مرة أخرى، ان العلاقة أعلاه صحيحة عند الحديث عن الهوائي موحد الخصائص Isotropic، أما عند الحديث عن هوائي موجه والذي يعمل على توجيه الموجة باتجاه معين (وليس التوزيع المنتظم للطاقة في جميع الاتجاهات) فيجب حساب كسب ذلك الهوائي المستخدم.

ويعرف كسب الهوائي (G) Gain بأنه: النسبة بين القدرة المشعة Radiation Power من الهوائي في اتجاه معين والقدرة المشعة من هوائي Isotropic في نفس ذلك الاتجاه (والذي يمثل بالطبع اتجاه الهدف). أوأنه النسبة بين أقصى كثافة إشعاع من الهوائي الموجه وكثافة الإشعاع من هوائي isotropic عديم الفقد ذو نفس القدرة الداخلة، أي أن المرجع المثالي الذي تقارن به فعالية أي هوائي عادي.

ان المقصود بكثافة الإشعاع هو القدرة المشعة لكل وحدة زاوية angle unit باتجاه معين وبذلك فان كثافة القدرة عند الهدف من هوائي له كسب إرسال يساوي:

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2$$

حيث:

G : كسب الهوائي.

A_e : المساحة الفعالة للهوائي بوحدة m.

λ: الطول الموجي (c/f) بوحدة m

وبالتالي يمكن إعادة صياغة قانون شدة القدرة المرسلة من هوائي موجه عند نقطة تبعد مسافة R على النحو التالي:

$$I_1 = P_t * G/4\pi R^2$$

وهي شدة المجال للإشارة عند اصطدامها بالهدف على بعد يساوي R. ونتيجة الاصطدام تفقد الإشارة جزء من قدرتها، ويقوم الهدف بعكس الإشارة مرة أخرى إلى جميع الاتجاهات ولكن بقدرة أقل من القدرة المرسلة (بسبب الاصطدام). وهكذا يصبح الهدف باعث جديد للإشارة المنعكسة. وإذا عرفنا δ Radar Cross Section على أنها مقياس القدرة الساقطة المصطدمة بالهدف والمنعكسة عنه، فيمكن معرفة كثافة قدرة الإشارة المشعة من الهدف عند أي مسافة R1 على النحو التالي:

$$I_2 = (P_t G/4\pi R^2)*(\delta/4\pi R_1^2)$$

وبالتالي يمكن معرفة شدة الإشارة التي سترتد عن الهد وتصل مرة أخرى للهوائي، حيث تتساوى المسافتين (المسافة من الرادار إلى الهدف تساوي المسافة من الهدف إلى الرادار)،أي أن :

$$R=R_1$$

وبالتالي تصبح علاقة كثافة القدرة عند الرادار بعد الارتداد:

$$I = (P_t G/4\pi R^2)*(G \delta/4\pi R^2)$$
$$= P_t G \delta /(4\pi R^2)^2$$

وبما ان كثافة القدرة تسوي نسبة القدرة إلى المساحة، فيمكن القول ان القدرة المستقبلة عند الرادار تساوي:

$$P_r = I^*A$$

حيث:

P_r: قدرة الإشارة المرتدة عن الهدف عند وصولها إلى الرادار مرة أخرى ووحدتها watt.

I: كثافة القدرة ووحدتها $Watt/m^2$.

A: المساحة ووحدتها m^2. (المهم هو المساحة الفعالة A_e)

وبالتعويض بعلاقة كثافة الموجة عند الرادار، تصبح العلاقة على النحو التالي:

$$P_r = P_t G \delta A_e /(4\pi R^2)^2$$

وبالتالي فان علاقة المسافة بالعناصر الأخرى تكون:

$$R = (P_t G \delta A_e/P_r(4\pi)^2)^{1/4}$$

فإذا ما عرفنا أقصى مدى على أنه أبعد مسافة نستطيع الكشف عن الأهداف عندها، فان ذلك يحدث عند أقل قدرة مرسلة P_t ، (حيث العلاقة عكسية بين المدى والقدرة المرسلة). فتصبح معادلة الرادار:

$$R_{max} = (P_t G \delta A_e/S_{min}(4\pi)^2)^{1/4}$$

أي أن العوامل المهمة للمعادلة هي كسب الهوائي في الإرسال ومساحة المساحة الفعالة في الاستقبال. ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بالتعويض عن الكسب بمعادلته فتصبح الصيغة النهائية لمعادلة الرادار مرة بدلالة A_e ومرة بدلالة λ:

$$R_{max} = (P_t \delta A_e^2/S_{min}(4\pi)\lambda^2)^{1/4}$$
$$= (P_t G^2 \delta \lambda^2 /S_{min}(4\pi)^3)^{1/4}$$

من هذه المعادلة يمكن تحديد العوامل المؤثرة على أقصى مدى للرادار على النحو التالي:

1. يتناسب أقصى مدى للرادار R تناسب طرديا مع الجذر الرابع مع أقصى قيمة لقدرة النبضة المرسلة من هوائي الرادار $P_t^{1/4}$.
2. مع بقاء الطول الموجي ثابت يتناسب أقصى مدى تناسب طرديا مع الجذر التربيعي للمساحة الفعالة لهوائي الاستقبال، وبالتالي يزيد المدى إلى الضعف مثلا بزيادة قطر الهوائي المستقبل إلى الضعفين. كما يمكن القول أنه بتثبيت قطر الهوائي للمستقبل فان المدى يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي للطول الموجي للنبضة المرسلة.
3. كلما ازدادت مساحة الهدف كان لكثر وضوحا وكان من الأيسر الكشف عنه على مسافات بعيدة.
4. يعتمد أقصى مدى على مساحة الهدف، فكلما كان الهدف أكبر كان من السهل الكشف عنه ولو على مسافات بعيدة.
5. يؤثر التداخل الأرضي على أقصى مدى Ground Interference.
6. التشويش، حيث يحدد أقل قدرة لإشارة المدى التي يستطيع المستقبل في الرادار تمييزها.
7. كسب الهوائي G ، نتيجة التعامل مع هوائي موجه فان قدرته على تركيز الطاقة في حزمة ضيقة صوب الهدف تؤثر في قيمة المدى القصوى.
8. وبالتأكيد يؤثر صفاء الجو ووضوح الرؤية يؤثر تأثير كبير، فوجود الضباب والثلوج تحجب الرؤية ولو على مسافات قليلة في بعض الأحيان.

مثال1: إذا أردنا زيادة أقصى مدى لرادار إلى الضعف، فإلى أي قيمة يجب ان نرفع قدرة النبضة المرسلة؟ (على فرض تثبيت باقي القيم الأخرى المؤثرة على المدى)

الحل:

بتثبيت باقي القيم ولنفرضها k يمكن إعادة كتابة المعادلة على النحو التالي:

$$R_{max1} = (P_t\, G\, \delta\, A_e/S_{min}(4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= k(P_{t1})^{1/4}$$

فإذا أردنا زيادة أقصى مدى لرادار إلى الضعف:

$$R_{max2} = 2\, R_{max1}$$
$$= k(P_{t2})^{1/4}$$
$$=2k(P_{t1})^{1/4}$$

وبأكثر نسبة للمدى الثاني إلى الأول نجد:

$$R_{max2} / R_{max1} =2$$
$$k(P_{t2})^{1/4}/ k(P_{t2})^{1/4} =2$$
$$(P_{t2})^{1/4}/ (P_{t2})^{1/4}=2$$

وبالتالي فان القدرة الجديدة:

$$P_{t2}{}^{1/4} = 2P_{t1}{}^{1/4}$$
$$P_{t2} = 16\, P_{t1}$$

أي لمضاعفة المدى مرة يجب مضاعفة القدرة المرسلة 16 مرة.

مثال2: احسب أقصى مدى يستطيع رادار تمييز هدف عنده، إذا علمت أن كسب هوائي الرادار يساوي 20

وقيمة δ تساوي 5 والمساحة الفعالة لهوائي الاستقبال $20\ m^2$، وأقصى قيمة للقدرة المستقبلة تساوي $0.1\ \mu watt$ بينما قدرة الإشارة المرسلة تساوي 100 watt.

الحل:

بالتعويض المباشر في معادلة الرادار نحصل على أقصى مدى:

$$R_{max} = (P_t G\, \delta\, A_e/S_{min}(4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= (100*20*5*20/0.1*10^{-6}*(4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= 335.5\ m$$

مثال3: إذا كانت المساحة الفعالة لهوائي $20m^2$ وكسبه 40dB وقدرة الإشارة المرسلة 9w وأقل قدرة للإشارة المستقبلة 0.3uw. قيمة δ تساوي1، احسب أقصى مدى للرادار في هذه الحالة.

الحل:

أولا يجب تحويل القيمة اللوغاريتمية لكسب الهوائي قبل تعويضها في المعادلة:

$$G = Log^{-1}[G_{dB}/10]$$
$$= Log^{-1}[40/10]$$
$$= 1000$$

يمكن الآن التعويض المباشر في معادلة الرادار:

$$R_{max} = (P_t G\, \delta\, A_e/S_{min}(4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= (9*1000*1*20/0.3*10^{-6}*(4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= 248\ m$$

مثال4: ما بعد الهدف عن الرادار في المثال السابق، إذا كانت قدرة الإشارة المستقبلة يساوي 0.1mw ؟

الحل:

يمكن إيجاد المدى من العلاقة الأصلية المشتقة:

$$R = (P_t G \delta A_e / P_r (4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= (9*1000*1*20/0.1*10^{-3}*(4\pi)^2)^{1/4}$$
$$= 58.1 \text{ m}$$

العوارض Displays

يمثل العارض Display وسيلة تقديم المعلومات المرئية الرادارية بشكل مناسب لتحليل العامل وتنشيط المعلومات المحتواة في إشارة المدى للرادار. وعندما يتم وصل العارض Display مباشرة إلى ناتج الفيديوفان هذا هوالنوع التقليدي للعرض الراداري في المستقبل وتسمى المعلومات المعروضة في هذه الحالة Raw Video .

وعندما يعالج أولا ناتج الفيديو في المستقبلة بكاشف أتوماتيكي أو كشف آلي ومعالج ماسح Tracking Processor) (ATD)، فان الناتج المعروض يدعى في بعض الأحيان Synthetic Video .

ويوجد من العوارض Displays 18 نوع مختلف من أنواع العرض والتقديم للإشارة المرئية، يمكن وصفهم على النحو المختصر التالي:

1. A-Scope عارض تعديل الانحراف (A Deflection Modulated Display): حيث يتناسب انحراف المؤشر للعارض مع شدة البعد عن الهدف، بينما يتناسب المحور الأفقي مع المدى قبله.
2. B-Scope عارض مستطيل لتعديل الكثافة Modulated Rectangular Intensity Display : حيث يمثل المحور الأفقي في هذا النوع من العوارض (Azimuth Angle) زاوية السمت، بينما يمثل المحور العمودي بعد الهدف عن الرادار (المدى).

3. C- Scope حيث يمثل المحور الأفقي (Azimuth Angle) لهذا العارض زاوية السمت، بينما يمثل المحور العمودي زاوية الارتفاع (Elevation).
4. D-Scope :يتم في هذا العارض إعطاء تقدير غير دقيق (Rough) للمسافة على المحـــور العمـــودي نتيجة الإشـــارات والنبضـــات الرادارية (Blips)، وهو يماثل العارض من نوع C-Display.
5. E-Scope هو أيضا عارض مستطيل لتعديل الكثافة حيث يمثل المحور الأفقي المسافة بينما يمثل المحور العمودي زاوية الارتفاع (Elevation) (وهويماثل نظام Rh1 في ذلك حيث يمثل ارتفاع الهدف على المحور العمودي).
6. F-Scope : يظهر الهدف على هذا العارض المستطيل حيث كإشارة أو نبضة مركزية عندما يوجه هوائي الرادار عليه (Aiming) وان الخطأ في التصويب العمودي يشار له بالإزاحة الأفقية والخطأ في التصويب الأفقي يشار له بالإزاحة العمودية للاشاره أو النبضة الرادارية (Blip) .
7. G-Scope عارض مستطيل حيث يظهر الهدف كإشارة أو نبضة رادارية مركزية جانبية (Laterally Blip) عندما يوجه الهوائي بزاوية الهدف بزاوية سميته .
8. H-Scope هو B- Scope معـــدل ليضمن إشـــارة عن زاوية الارتفـــاع (Angle Of Elevation) ويظهر الهدف كنبضتين أو إشارتين رداريتين متقاربتين جدا والتي تقرب خط باهر Bright قصير حيث ان ميله يتناسب مع جيب زاوية ارتفاع الهدف .
9. J-Scope هو A- Scope معدل حيث تكون قاعدة الوقت دائرة وتظهر الأهداف كانحرافات قطرية عن هذه القاعدة .

10. I-Scope هو عارض يظهر الهدف فيه كدائرة كاملة عندما يشير هوائي الرادار إليه تماما، بحيث يتناسب نصف قطر الدائرة مع بعد الهدف، وعدم التوجيه الصحيح لهوائي الرادار باتجاه الهدف يغير الدائرة إلى قطعة بحيث ان طول قوسها يتناسب عكسيا مع الخطأ المؤشر Pointing Error ويشير مكان القطعة إلى معكوس اتجاه تأشير الهوائي .

11. K- Scope هو A- Scope معدل: يظهر الهدف على هذا العارض كزوج من الانحرافات العمودية، وعندما يشير هوائي الرادار بشكل صحيح إلى الهدف فان الحارفين يكون لهما نفس الارتفاع وعندما لا يشير إلى الهدف فان الفرق في اتساع الحارفان يشير إلى اتجاه واتساع الخطأ المؤشر (Pointing Error).

12. L- Scope : يظهر الهدف على هذا العارض كزوج من الإشارات أو النبضات الرادارية، واحدة تمتد إلى اليمين بعيدا من قاعدة وقت عمودية مركزية والأخرى إلى اليسار. وعندما يشير الرادار مباشرة إلى الهدف يتساوى اتساع الاشارتين. وعدم المساواة تعني وجود خطأ نسبي مؤشر، وتمثل المسافة باتجاه الأعلى وعلى طول خط القاعدة بعد الهدف .

13. M -Scope أحد أنواع A- Scope حيث ان بعد الهدف يتقرر بواسطة تحريك إشارة تعيير ومتغيرة (Moving And Adjustable Pedestal) على طول خط القاعدة وحتى تتطابق مع الموضع الأفقي لانحراف لشارة الهدف، والضابط (Control) الذي يحرك القاعدة (pedestal) يعير في البعد او المسافة .

14. N - Scope هو K -Scope له إشارة قاعدة Pedestal متغيرة للتضبيط كما في M -Scope لقياس المسافة.

15. O- Scope هو A -Scope معدل وذلك بتضمينه مسننة Notch متغيرة للتضبيط لقياس المسافة.

16. PPI او Plan Position Indicator وأيضا تدعى P -Scope: هوعارض دائري يعدل الكثافة، وتوضع به إشارات الصدى الناتجة عن الأجسام العاكسة على مكان Plan مع المدى، وزاوية السمت Azimuth تعرض على محاور قطبية (ROH Theta) تشكل عرض ممثل الخارطة.

17. R- Scope هو A- Scope مع قطعة لقاعدة زمنية تمتد بجانب الإشارة او النبضة الرادارية Blip للدقة الكبيرة high Accuracy في قياس بعد الهدف .

18. مشير المدى والارتفاع Range Height Indicator (RHI) : عارض تعديل الكثافة حيث يمثل المحور العمودي الارتفاع (المسافة العمودية من الأفق) ويمثل المحور الأفقي المدى (المسافة المباشرة من الرادار إلى الهدف) وبالتالي يمكن تحديد اتجاه الهدف (الزاوية) من العلاقة الجيبية للمسافتين.

6-7 مفهوم دوبلر وإيجاد العلاقة بينها وبين سرعة الهدف

Doppler Frequency Shift

عندما يكون مصدر الموجة الصوتية ثابت لا يحدث أي إزاحة للتردد. أما إذا كان مصدر الموجة الصوتية أو الطرف الذي يستقبل هذه الموجة في حالة حركة فسوف يحدث إزاحة لتردد الموجة. وهذا ما يعرف بتأثير دوبلر والذي يمثل مبدأ عمل الرادار ذو الموجة المستمرة CW.

فإذا كانت المسافة بين الرادار والهدف تساوي R، فمن الطبيعي أن تساوي تلك المسافة عدد أطوال الموجة (n) المتكونة منها. وبالتالي فان أطوال

الموجة المحتواة في المسار من الرادار إلى الهدف وإلى الرادار مرة أخرى ضعف ذلك العدد، أي:

عدد أطوال الموجة n (لمسار الذهاب والعودة) = $2R/\lambda$

حيث R و λ لهم نفس وحدة القياس.

وبما ان كل 1 طول موجي يقابله 2π Radian ، فان الانحراف الزاوي الكلي الناتج عن إرسال واستقبال الموجة الكهرومغناطيسية I يساوي:

$$I = 2\pi(2R/\lambda) = 4\pi R/\lambda = 2\pi n$$

فإذا كان الهدف المرصود متحرك فان المسافة R تكون متغيرة وبالتالي فان الانحراف الزاوي I يصبح متغير، حيث العلاقة طردية بينهما.

ولأي موجة ممثلة جيبيا:

$$X(t) = A\sin(\theta)$$

فان القيمة اللحظية للتردد الزاوي ω يساوي مشتقة الزاوية نسبة للزمن:

$$\omega = d\theta/dt$$

ومشتقة الانحراف الزاوي I تمثل تردد دوبلر الزاوي Doppler، ويساوي:

$$\omega_d = 2\pi f_d = dI/dt$$
$$= d(4\pi R/\lambda)/dt$$
$$= (4\pi/\lambda)\, dR/dt$$

حيث R متغيرة مع الزمن، ومشتقة المسافة تعطي السرعة V_r:

$$\omega_d = 4\pi V_r/\lambda$$

وبالتالي:

$$f_d = \omega_d/2\pi = (4\pi V_r/\lambda)/2\pi$$
$$= 2V_r/\lambda$$
$$= 2V_r f_0/C$$

حيث:

f_d: تردد دوبلر.

f_0 : التردد المرسل.

ω_d: تردد دوبلر الزاوي.

C: سرعة الضوء وتساوي سرعة انتشار الموجة = $3 * 10^8 m/sec$.

ان هذه العلاقة تعد علاقة تقريبية حيث تم فرض تساوي المسافة من الرادار إلى الهدف مع المسافة من الهدف إلى الرادار للتسهيل بالرغم من اختلافهما (زيادة أو نقصان بحسب اتجاه الجسم المتحرك).

أما التعبير الدقيق لتردد دوبلر f_d من عند هدف متحرك بسرعة نسبية V_r إذا كان التردد المرسل يساوي f_0 فيعطى بالعلاقة التالية:

$$f_d = f_0[(1+V_r/C)/(1-V_r/C)]$$

مثال1: احسب سرعة سيارة راقبه رادار وسجل عنها تردد دوبلر يساوي 250 Hz، إذا كان التردد المرسل يساوي 1 GHz.

الحل:

من علاقة تردد دوبلر يمكن حساب سرعة الجسم:

$$f_d = 2V_r f_0/C$$

وبالتالي:

$$V_r = f_d*C /2f_0$$
$$= 250* 3*10^8/2*10^9$$
$$= 37.5 \text{ m/sec}$$
$$=37.5 *10^{-3}/(1/3600) = 135 \text{ Km/hour}$$

مثال2: إذا كان جسم يتحرك موقعه وفقا للعلاقة التالي:

$$R = 10t^2+15$$

وتم التقاطه بواسطة رادار، فإذا كان التردد الإشارة المرسلة من الرادار تساوي 3 GHz، جد:

1. الانحراف الزاوي عند أي لحظة.
2. الانحراف الزاوي عند الثانية الأولى t=1 sec.
3. تردد دوبلر عند الثانية الأولى t=1 sec.

الحل:

لإيجاد الانحراف الزاوي نحسب أولا الطول الموجي للإشارة:

$$\lambda = C/f$$
$$= 3*10^8/3*10^9$$
$$=0.1 \text{ m}$$

1. نطبق علاقة الانحراف الزاوي فنحصل على:

$$I = 4\pi R/\lambda = 4*3.14*(10t^2+15)/0.1$$
$$=1256t^2+1884$$

2. نعوض في قيمة الزمن في المعادلة التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة:

$$I =1256*1+1884$$
$$= 3140$$

3. أولا يجب أن نحسب سرعة الجسم في تلك اللحظة من خلال اشتقاق علاقة المسافة:

$$V_r =dR/dt =d(10t^2+15)/dt$$
$$= 20t$$
$$= 20*1=20 \text{ m/sec}$$

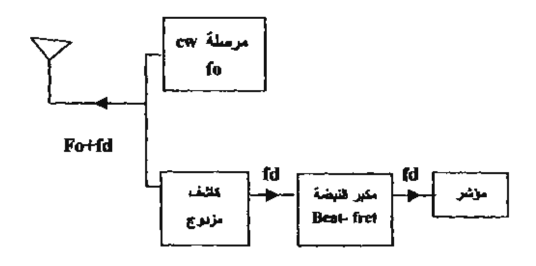
ويمكن الآن إيجاد تردد دوبلر من القانون مباشرة:

$$f_d = 2V_r /\lambda$$
$$= 2*20 /0.1 = 400 \text{ Hz}$$

7-7 نظام الرادار ذو الموجة المستمرة

Continuous Wave Radar (CW)

يستخدم هذا الرادار موجة معدلة Modulated Signal أو غير معدلة، وهو رادار مهم لما له من تطبيقات عديدة ومهمة في الحياة العملية. والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لهذا الرادار:



من الملاحظ ان الشكل العام لهذا الرادار يتشابه مع الرادار النبضي، حيث يتكون من هوائي واحد للإرسال والاستقبال معا واحتوائه على دائرة إرسال واستقبال. ومن الأمثلة على رادارات الموجة المستمرة رادار Proximity (VT) Faze ورادار FM-CW Altimeter.

ووظيفة مكونات رادار الموجة المستمرة التي تشكل مبدأ عمله يمكن تلخيصها بما يلي:

1. المرسلة Transmitter: تقوم بتوليد موجة اهتزاز مستمرة بتردد f_0، ويتم إرسال هذه الموجة عبر الهوائي نحو الهدف الذي يمتص جزء من طاقتها

ويعكس الباقي في جميع الاتجاهات فيعود جزء منها مرة أخرى إلى الرادار.

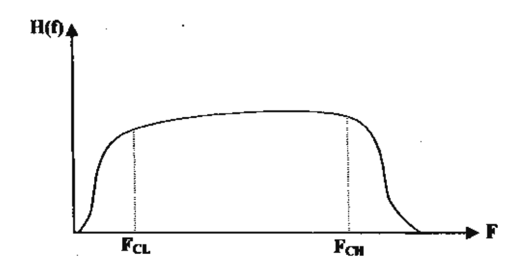
ان تردد الموجة المرتدة إلى الرادار لا يساوي التردد المرسل تماما. فالجسم المتحرك الذي يصطدم بالموجة ويعكسها يتسبب بإزاحة لتردد الموجة يعتمد على اتجاه حركة الجسم (إذا كان يتحرك باتجاه الرادار أو عكس اتجاه الرادار). فيكون تردد الموجة المستقبلة من قبل الرادار مساويا:

أ. f_o+f_d: أي زيادة في قيمة التردد المستقبل عن التردد المرسل بفارق f_d، ويحدث ذلك إذا كان الجسم يتحرك نحو الرادار وبالتالي تقليل المسافة بينه وبين الرادار.

ب. f_o-f_d : أي نقصان في قيمة التردد المستقبل عن التردد المرسل بفارق f_d، ويحدث ذلك إذا كان الجسم يتحرك بعيدا عن الرادار وبالتالي تزداد المسافة بينه وبين الرادار.

2. الكاشف المازج Detector Mixer : الحصول على موجة تردد متوسط حيث يقوم بمزج الإشارة المستقبلة (ذات التردد fo±fd) بجزء من إشارة المرسلة (ذات التردد fo)، فتنتج نغمة تسمى "Doppler Beat Note" أو نغمة دقة دوبلر.

3. مكبر دوبلر Doppler Amplifier : للمكبر وظيفتين أساسيتين، الأولى تكبير إشارة مدى دوبلر إلى المستوى القياسي المطلوب الذي يسمح بتحليل الإشارة وتمييزها عن التشويش. ومن جهة أخرى يعمل المكبر عمل مصفي تمرير حزمة حسب الخصائص الانتقالية H(f) التالية:



وهذا المصفي له تردد قطع عالي F_{CH} وتردد قطع منخفض F_{CL}. ولا بد من شروط تحكم قيمة هذان الترددان. بحيث يمرر المصفي كل ترددات دوبلر المتوقعة. وبناء على ذلك، يجب أن يسمح تردد القطع العالي F_{CH} للمصفي بمرور أكبر تردد دوبلر متوقع وأن يسمح تردد القطع المنخفض F_{CL} للمصفي بمرور أصغر تردد دوبلر متوقع ولكن في الوقت نفسه يجب أن يكون ذو قيمة قليلة بحيث لا يمرر للفولتيات المباشرة الناتجة من اصطدام الإشارة المرسلة بالأجسام الثابتة (الأرض، الأشجار، المباني،....) وارتداد الإشارة عن هذه الأجسام غير المعنية ورجوعها إلى الرادار وأحيانا يكون من الصعب تحقيق الشرطين المتعلقين بتردد القطع المنخفض F_{CL}، فيتم عمل نوع من التوافق بينهما.

4. المؤشر Pointer: بالرغم من اختلاف أنواع المؤشرات إلا أن طبيعة عملها يبقى واحد، وهو عرض تردد الإشارة الناتجة من المكبر. فإذا لم يكن من حاجة للمعرفة الدقيقة بقيمة تردد دوبلر الناتج فيمكن استخدام من السماعات Speakers لسماع النغمة (حيث تقع ترددات دوبلر ضمن الترددات المسموعة من قبل الإنسان Audio Signals)، أما إذا كان

المطلوب عرض تردد دوبلر فيمكن استخدام مؤشر ترددي Frequency Meter في هذه الحالة.

7-7-1 استعمالات الرادار ذو الموجة المستمرة CW

ان الخاصية في رادار دوبلر ذو الموجة المستمرة التي تميزه عن الوسائل الأخرى المستخدمة في قياس السرعة هي عدم الحاجة إلى اتصال فيزيائي بين جهاز القياس وبين الجسم المراد قياس سرعته.

ان للرادار ذو الموجة المستمرة تطبيقات عملة كثيرة متعددة تعتمد على مبدأ عمله في قياس السرعة النسبية لجسم متحرك منها:

1. الرادار المراقب للسرعة المستخدم من قبل شرطة السير.
2. جهاز قياس (meter) لقياس معدل Average الصعود للطائرات عند إقلاعها نحو الأعلى.
3. التحكم في الإشارات الضوئية لتنظيم حركة السير.
4. يستعمل كبديل لمقياس السرعة Fifth-Wheel لقياس وتنظيم الدفات في الحجرات على العربات، حيث يستفاد منه في فحص العربات في أنظمة الفرامل وتجنب الاصطدام.
5. يستعمل كمقياس للسرعة لاستبدال محور العجلة في جهاز قياس سرعة الدوران التقليدية في مجال السكك الحديدية. وفي حالة التسارع أو ضبط الفرامل يحدث انزلاق للعجلات التي تسبب أخطاء التي قد تؤثر في القياس.
6. قياس سرعة عربات الشحن لسكك الحديد في عمليات الحمل الزائد.

7. للرادار تطبيقات في مجال الصناعة. حيث يتم استخدام الرادار كجهاز قياس اهتزازات التوربينات وسرعة عجلات المطحنة، كما يستخدم في مراقبة الاهتزازات في كوابل الجسور المتعلقة.

8. استخدام الرادار في أنظمة متطورة مثل أنظمة صواريخ هوك، فيتم استخدامه للكشف عن الطائرات والصواريخ والذخائر الحربية وغيرها من الأجسام الطائرة والمتحركة.

ان التطبيقات السبعة الأولى تستخدم فيها موجة لها طاقة قليلة تقاس بوحدة mwatt ، أما التطبيق الأخير فتستخدم فيه موجة ذات قدرة عالية.

لقد حددت تطبيقات كثيرة لرادار الموجة المستمرة CW على المسافات البعيدة نتيجة الصعوبة في فصل الإشارة المرسلة عن الإشارة المستقبلة.

8-7 نظام رادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar

يعمل رادار دوبلر النبضي على كشف الأهداف المتحركة في وسط ذو درجة عالية من الضوضاء من خلال استخلاص تردد دوبلر. فما يحدث في الرادار النبضي عدم الوضوح (الغموض) في قياس تردد دوبلر والمدى، ويمكن معالجة ذلك كما يلي:

1. الغموض في قياس تردد دوبلر (السرعة النسبية): ويتم تجنب حدوث هذا باستخدام معدل تجزئة عالي (معدل نبضة تكراري قليل).
2. الغموض في قياس المدى (تأخير الوقت): ويتم تجنب حدوث هذا باستخدام معدل تجزئة قليل.

ويتضح من ذلك أن معالجة أحد الأمرين يرجع سلبا على الآخر. ولكن من الممكن عمل نوع من التوافق بينهما. وبناء على نوع التوافق المستخدم فان الرادار يكون:

أ. رادار MTI : حيث يكون لهذا الرادار معدل نبضة تكراري قليل يسمح بمعالجة الالتباس في قياس المدى، فلا يتم ملاحظة أكثر من مدى (لا يحدث Multiple Time Around Echo). ولكن كما ذكر سابقا فان هذا التوافق يرجع سلبا على قياس السرعة، فبالرغم من عدم قراءة مديات متعددة إلا أنه يحدث قراءة لسرعات متعددة مضللة.

ب. رادار دوبلر النبضي Pulse Doppler Radar : على العكس من النوع الأول فان لهذا الرادار معدل نبضة تكراري عالي يسمح بمعالجة الالتباس في قياس السرعة وتجنب قراءة القياسات المضللة لها، ولكن فان هذا التوافق يرجع سلبا على قياس المدى حيث يتم ملاحظة أكثر من مدى (حدوث ظاهرة Multiple Time Around Echo).

وبالإضافة لتميز رادار دوبلر النبضي بالعمل في محيط ضوضائي، فهو أيضا أكثر استعمالا لمصفوفات مصفيات دوبلر ذات البوابات المنتظمة Range Gated Doppler ومكبرات قدرة مثل Klystron أكثر من استعمال مهتزات قدرة مثل Magnetron ، ولذلك فان لرادار دوبلر النبضي معدل نبضة تكراري عالي (أو يمكن القول أن له Duty Cycle أعلى من رادار MTI).

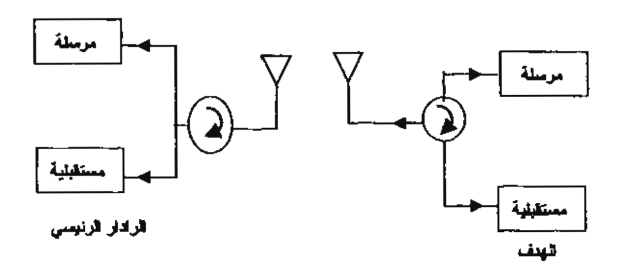
وبالمقارنة بين رادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar ورادار الموجة المستمر CW، فيمكن تمييز نقطتين للمفاضلة:

أ. أداء الكاشف في رادار دوبلر النبضي غير محدود بالاشارات المنعكسة من الضوضاء القريبة أوجزء الإشارة المنعكس عن الهدف والراجع إلى المستقبلة حيث يوقف عملها أثناء الإرسال.

2. قابلية الكشف عن الأهداف في رادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar تقل بسبب البقع المضللة في المدى الناتج من الترددات الراديوية ذات القدرة العالية High Power.

7-9 الرادار الثانوي Secondary Radar

يختلف الرادار الثانوي اختلاف رئيسي عن سابقيه، ويظهر ذلك من خلال المخطط الصندوقي للرادار الثانوي الموضح في الشكل التالي:



حيث يعتبر كل من الرادار والهدف "مرسل-مستقبل"، حيث يحتوي الهدف نفسه رادار و Transponder. حيث الغرض من هذا الرادار الكشف عن وجود الهدف وإنما التخاطب معه للتعريف عن هويته ومكانه، والتجاوب من قبل الهدف مع الرادار.

ويتم الكشف عن النبضة المرسلة من مركز التحكم عند تردد محدد والتي تقدح تشغيل المستقبلة في "الملتقي والمستجيب" (Transponder)، لإرسال نبضة ثانية إلى مركز التحكم أو القاعدة (الرادار الأرضي). ان إشارة

المدى الناتجة في هذا الرادار أقوى من إشارة المدى في الرادارات السابقة والتي كانت تنتج عن الانعكاس عن الهدف (وضياع جزء من قدرة الإشارة).

والترددات النموذجية المستخدمة في هذه الحالة يمكن أن تكون على النحو التالي:

1. من مركز التحكم إلى الهدف: تردد يساوي 1.03 GHz.
2. من الهدف إلى مركز التحكم: تردد يساوي 1.09 GHz.

ويستعمل الرادار بعدة طرق كمساعدة الاتصالات البحرية للاستعمال المدني ولاستعمالات عسكرية أخرى .

وللتخاطب بين الهدف ومركز التحكم لا بد من استخدام إشارة مشفرة خاصة بهم، والضرورية لتحديد هوية الهدف (خاصة في مناطق العسكرية لتحديد هوية طائرات العدو). ولكل من الاستعمالات المختلفة شفرة تخاطب خاصة مبين بعض منها في الجدول التالي:

شفرة الاستجواب Interrogation code	الفاصل الزمني بين النبضات pulse spacing(usec)	الاستعمال
1	3	تعريف عسكري
2	5	تعريف عسكري
3/A	8	ربط عسكري / تعريف مدني
B	17	تعريف مدني
C	21	الارتفاع
D	25	غير مؤشر

وحيث ان الهدف مثله كمثل مركز التحكم سوف يستجيب فقط لإشارات محددة أولا ومرسلة ثانية من هذا الهدف بشكل محدد، فان مشكلة تراكم الضوضاء قد خففت بشكل كبير حيث ان الأهداف غير المرغوبة (المباني، الأشجار،....) سوف لن تعيد إشعاع إشارة قوية عند التردد المخصص.

يتميز نظام الرادار الثانوي على نظام الرادار الأولي من عدة نواحي، يمكن تلخيصها بما يلي:-

1. إشارة صدى قوية عند المستقبلة والمتحكمة: فبينما كانت إشارة الصدى المرتدة للرادار الأولي ضعيفة فان إشارة الصدى في الرادار الثانوي قوية كونها إشارة مرسلة وليست منعكسة عن المرسلة.
2. تعريف الهدف وتعريف موقعه ومكانه: في الرادار الأولي تحددت المعلومة الواصلة للرادار بموقع الهدف وسرعته فقط أما في الرادار الثانوي ونتيجة الاستجواب بين مركز التحكم والهدف فيمكن تحديد هوية الهدف وموقعه ومهمته وغيرها من المعلومات المراد معرفتها عنه.
3. يوضع عنوان للهدف عندما يراد ذلك من محطة التحكم فقط: ومن الحالات التي يتم فيها ذلك إذا أراد مركز التحكم التراسل مع أكثر من نقطة جوية متحركة (مجموعة طائرات مثلا).
4. يمكن توفر معلومات مختلفة من الأهداف.
5. الضوضاء تخف بشكل كبير معطية نظاما مؤشرا من الهدف المتحرك: ويعود السبب لذلك مرة أخرى لأن الإشارة المستقبلة ليست مرتدة عن الهدف (وبالتالي مستواها ليس ضعيف إذا ما قورن بإشارة التشويش).

7-10 العوامل المؤثرة على عمل الرادار الابتدائي والثانوي

ذكرنا أن عدد من المعاملات تحدد أقصى مدى يكشف فيه الرادار الأهداف في موضوع سابق. لكن يوجد عدة عوامل تؤثر على عمل الرادار بشكل عام (سواء الابتدائي أو الثانوي) والراجعة إلى الأشكال المختلفة من التشويش الممكن حدوثه والتي لها تأثير بسبب القدرة القليلة للإشارة المرتدة نتيجة لامتصاص جزء وتشتت جزء آخر من الإشارة المرسلة، وبالتالي أي قيمة محسوسة للتشويش تؤثر سلبا على النظام ككل. ومن العوامل المؤثرة على عمل الرادار (أو أسباب التشويش المؤثر في النظام):

1. التشويش المولد في المستقبلة Noise Generated within the Receiver:

طبيعة عمل الرادار تعتمد على إرسال إشارة واستقبال الإشارة المرتدة منها عن الهدف الذي يتم رصده. وبالرغم من إرسال الإشارة بقدرة عالية (إشارة مرسلة قوية) إلا أن هذه الإشارة تنتشر في مساحة واسعة من جهة ومن جهة أخرى فان جزء من قدرتها يفقد نتيجة الاصطدام بالهدف. وبالتالي فان قدرة الإشارة المستقبلة لا تكن كبيرة بالقدر الكافي أحيانا. ويقوم هوائي دائرة الاستقبال بالتقاط إشارات التشويش الخارجي والتي قد تكون لها قدرة أعلى من الإشارة المطلوبة في بعض الأحيان، ويتم تكبير إشارة التشويش بنفس قيمة التكبير لإشارة المدى كما يمكن أن ينتج تشويش من مكونات دائرة الاستقبال نفسها (كالتشويش الحراري). ويمكن التقليل من هذه المشكلة بتقليل عرض النطاق للموجة المرسلة.

وبشكل علمي يتم التوفيق بين استخدام عرض حزمة ضيقة للتخلص من التشويش واستخدام عرض حزمة واسع يضمن الحصول على شكل إشارة جيد.(Narrow Band Width , Wide Band Width)

2. التشويش الخارجي الناتج من الظواهر الطبيعية External Noise Caused by Natural Phenomena:

الكثير من الظواهر الطبيعية مثل التفريغ الكهربائي والإشعاعات الشمسية والإشعاعات الكونية تسبب التداخل مع الإشارة المرتدة والتي كانت تؤثر في الأنظمة ذات الطول الموجي الكبير، لكنها لا تعرقل عمل الرادارات ذات التقنية العالية المستخدمة في هذه الأيام لأنها تستخدم إشارات ذات طول موجي صغير جدا.

3. التشويش الخارجي الناتج عن العاملين External Man Noise (Made):

غالبية مصادر التردد (الإشارة) سواء من المرسلات أومن آلات كهربائية من أنواع متعددة حيث تدخل هذه الإشارات إلى الهوائي وتدخل إلى المستقبلة ومنها إلى الشاشة حتى عندما يعمل جهاز الرادار بجانب جهاز آخر (رادار) بنفس التردد .

4. التشويش الناتج عن ارتداد الإشارات بواسطة ظواهر طبيعية Signals Reflected By Natural Phenomena:

تؤثر بعض الظواهر الطبيعية كالعواصف والغيوم والأمطار على عمل الرادار، حيث تقوم بعكس بعض الإشارات الناتجة عن الرادار. وتدخل دراسة هذه الظواهر ضمن اهتمامات رجال الأرصاد الجوية، لانها تعمل على تغطية الإشارة المرتدة ومنعها في بعض الأحيان من الوصول إلى المستقبلة مرة أخرى .

5. التشويش الناتج عن ارتداد الإشارات عند التضاريس الأرضية Signals Reflected By Land Masses:

عندما يكون الهدف مجاور لقطعة أرضية كبيرة نسبيا فان الأرض تكون بمثابة عائق للإشارة للوصول إلى الهدف وبتالي لا نحصل على ارتدادا إشارة جيد .

6. التشويش الناتج عن تكور سطح الأرض (Curvature Of The Earth):

الأرض ليست مسطحة وإنما كروية (منحنية) مما يسبب عدم وصول الإشارة إلى الهدف في بعض الأحيان إذا كان بعيد بشكل كبير عن الرادار وعلى ارتفاع غير كافي.

7. التشويش الناتج عن حجم وشكل الهدف والمادة المصنوع منها (The Size and Shape of the Object and the Material It Is Made of):

ترتد الموجة المرسلة ذات القدرة العالية عن سطح الجسم راجعة إلى الرادار، بقدرة كبيرة أو صغيرة أو متوسطة وهذا يعتمد على طبيعة الهدف من حيث :-

1. عندما يكون الهدف معدني فان الطاقة المرتدة تكون كبيرة: حيث يعمل المعدن (أو الفلز) كسطح عاكس جيد للأمواج.
2. عندما يكون الهدف ذو مساحة اكبر فان الطاقة المرتدة تكون كبيرة: فكلما كان الهدف كبير الحجم والمساحة السطحية كان من الأيسر الكشف عنه حيث تزداد احتمالية اصطدام الموجة المرسلة به.
3. عندما يكون الهدف قريب فان الطاقة المرتدة تكون كبيرة: فالعلاقة عكسية بين كثافة الموجة ومربع البعد عن الهدف فكلما صغرت المسافة بين الرادار والهدف كلما ازدادت كثافة الموجة عند النقطة التي يقع عندها الهدف.

4. عندما يكون وجه الهدف المقابل للرادار أملس فان الطاقة المرتدة تكون كبيرة: فالسطح الخشن يسبب تشتت للأمواج المنعكسة إلى جميع الاتجاهات بشكل غير منتظم.

أسئلة الوحدة السابعة

س1) ما هو الرادار Radar ؟

س2) ما الفرق بين المعلومة التي يحصل عليها الرادار والمعلومة التي تحصل عليها العين البشرية؟

س3) ارسم المخطط الصندوقي العام للرادار.

س4) ما مبدأ عمل الرادار الأولي؟

س5) عدد خصائص الرادار.

س6) اشرح مكونات الرادار الأولي ووظيفة كل جزء.

س7) كيف يتم تحديد كل من بعد الهدف واتجاهه بواسطة الرادار؟

س8) إذا كان الزمن الكلي المقاس من قبل الرادار والذي استغرقته إشارة للوصول إلى طائرة والاصطدام بها والارتداد عنها إلى الرادار يساوي 0.01msec، فما بعد الطائرة عن نقطة الرادار:

أ. بوحدة Km.

ب. بوحدة nmi.

س9) إذا كان البعد الحقيقي لطائرة عن قاعدة الطائرات يساوي 1.5 Km ولكن تم قياسه من رادار على أنه يساوي 1.2 Km، فما قيمة الخطأ في قياس الزمن ؟

س10) إذا كان الزمن الكلي المقاس من قبل الرادار والذي استغرقته إشارة للوصول إلى طائرة والاصطدام بها والارتداد عنها إلى الرادار يساوي 0.015msec، فما بعد الطائرة عن نقطة الرادار:

أ. بوحدة Km.

ب. بوحدة nmi

س11) إذا كان البعد الحقيقي لطائرة عن قاعدة الطائرات يساوي 1.3 Km ولكن تم قياسه من رادار على أنه يساوي 1.2 Km، فما قيمة الخطأ في قياس الزمن ؟

س12) ما العلاقة بيت تردد الشارة المرسلة والمدى؟

س13) كيف يتم التشفير في الرادار النبضي Pulsed Radar ؟

س14) كيف يتم التشفير في رادار الموجة المستمرة CW ؟

س15) ارسم المخطط الصندوقي للرادار ثم اشرح وظيفة كل من:

1. المرسلة Transmitter
2. المزدوج Duplexer
3. المازج Mixer
4. الكاشف الثاني Detector

س16) عدد خصائص مدخل المازج Mixer المستخدم في أنظمة الرادار.

س17) ما العوامل المؤثر على أقصى مدى للرادار؟

س18) ما الفائدة من المعادلة الأساسية للرادار؟

س19) إذا أردنا زيادة أقصى مدى لرادار ثلاثة أضعاف، فإلى أي قيمة يجب ان نرفع قدرة النبضة المرسلة؟ (على فرض تثبيت باقي القيم الأخرى المؤثرة على المدى)

س20) احسب أقصى مدى يستطيع رادار تمييز هدف عنده، إذا علمت أن كسب هوائي الرادار يساوي 15

وقيمة δ تساوي 10 والمساحة الفعالة لهوائي الاستقبال $50\ m^2$، وأقصى قيمة للقدرة المستقبلة تساوي 0.1 µwatt بينما قدرة الإشارة المرسلة تساوي 120 watt.

س21) إذا كانت المساحة الفعالة لهوائي $20m^2$ وكسبه 60dB وقدرة الإشارة المرسلة 10w وأقل قدرة للإشارة المستقبلة 0.25uw. قيمة δ تساوي 15، احسب أقصى مدى للرادار في هذه الحالة.

س22) ما بعد الهدف عن الرادار في السؤال السابق، إذا كانت قدرة الإشارة المستقبلة يساوي 0.15mw ؟

س23) احسب قطر الهوائي للرادار، بحيث يحقق أقصى مدى يساوي3000m، إذا كانت قدرة الإشارة المرسلة 1500 watt وδ تساوي 10، وأقصى قدرة مستقبلة ذات قيمة 10^{-4}watt، والتردد المستخدم يساوي 1.09GHz.

س24) احسب سرعة سيارة راقبه رادار وسجل عنها تردد دوبلر يساوي 250 Hz، إذا كان التردد المرسل يساوي 2 GHz.

س25) احسب سرعة سيارة راقبه رادار وسجل عنها تردد دوبلر يساوي 300 Hz، إذا كان التردد المرسل يساوي 2 GHz.

س26) إذا كان جسم يتحرك موقعه وفقا للعلاقة التالي:

$$R = 20t^2+10t$$

وتم التقاطه بواسطة رادار، فإذا كان التردد الإشارة المرسلة من الرادار تساوي 6 GHz، جد:

1. الانحراف الزاوي عند أي لحظة.
2. الانحراف الزاوي عند الثانية الأولى t=1 sec.

3. تردد دوبلر عند الثانية الأولى t=1 sec.

س27) إذا كان جسم يتحرك موقعه وفقا للعلاقة التالي:

$$R = \sin(200t)$$

وتم التقاطه بواسطة رادار، فإذا كان التردد الإشارة المرسلة من الرادار تساوي 6 GHz، جد:

1. الانحراف الزاوي عند أي لحظة.
2. الانحراف الزاوي عند الثانية الأولى t=1 sec.
3. تردد دوبلر عند الثانية الأولى t=1 sec.

س28) أعد السؤال السابق عند اللحظة t=2 sec.

س29) كيف يؤثر شكل الهدف ونوعه على قيمة القدرة المستقبلة للرادار ؟

س30) ما وظيفة العارض Display؟ ما هي أنواع العوارض المستخدمة مع الرادار الأولي؟ تكلم عن كل نوع منها باختصار.

س31) ما الفرق بين الرادار الأولي والرادار الثانوي؟

س32) ما استخدامات الرادار الثانوي؟

س33) ما استخدامات الرادار ذو الموجة المستخدمة CW ؟

س34) ما أنواع التشويش المؤثرة في عمل الرادارات؟

س35) ما أنواع المؤشرات المستخدمة في الرادار ذو الموجة المستمرة CW ؟

س36) ما الفرق بين رادار MTI ورادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar؟

س37) ما أساس التصنيف بين رادار MTI ورادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar؟

س38) ما الفرق بين رادار الموجة المستمرة Continuous Wave Radar ورادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar؟

س39) كيف يتم معالجة التشويش الناتج خلال المستقبلة في الرادار؟

س40) ما قيمة التردد المستخدم في التراسل من وحدة التحكم إلى الهدف وبالعكس؟

ف:4335 تاريخ استلام: 26/2/2006

المراجع العلمية References

1. دوسيه "أنظمة الاتصالات I"، إعداد نخبة من المهندسين.
2. دوسيه "Communication Systems"، للدكتور حمدي شرشر، جامعة المنصورة، مصر.
3. Introduction to Radar System; Merrill L. Skolnik. 2nd edition
4. MTI and Pulsed Doppler Radar; D. Curtis Schleher
5. Microwaves, An Introduction to Microwave Theory and Techniques; A.J. Baden Fuller; 2nd edition.
6. Introduction to Microwaves, Gershon J. Wheeler, Prentice Hall, 1963.
7. دوسيه "Digital Communication"، للمهندسة مريم أخوازهيه.
8. Electromagnetics, John D. Kraus, Fourth Edition
9. Principles of Communication Systems, Taub Schilling, 2nd edition .
10. Analogs and Digital Communication Systems, Martin S. Roden; 4th edition.
11. Analogs and Digital Communication 2th edition.







الأردن-عمان -وسط البلد- ش السلط - مجمع الفحيص التجاري- تلفاكس ، 2739 463 6 962+
خلوي5651920 79 962+ ص.ب 4244 الرمز البريدي 11121 جبل الحسين الشرقي